



Nørå Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår

Svendsen, Lars M.; Sortkjær, Ole; Ovesen, Niels Bering; Skriver, Jens; Larsen, Søren Erik; Pedersen, Per Bovbjerg; Rasmussen, Richard Skøtt; Dalsgaard, Anne Johanne Tang

Publication date:
2009

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Svendsen, L. M., Sortkjær, O., Ovesen, N. B., Skriver, J., Larsen, S. E., Pedersen, P. B., Rasmussen, R. S., & Dalsgaard, A. J. T. (2009). *Nørå Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår*. DTU Aqua. DTU Aqua-rapport No. 207-09 http://www.aqua.dtu.dk/Publikationer/Forskningsrapporter/Forskningsrapporter_siden_2008

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Nørå Dambrug

- et modeldambrug under forsøgsordningen

Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet

med væsentlige resultater fra første måleår

Lars M. Svendsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Ole Sortkjær, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Niels Bering Ovesen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Jens Skriver, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Søren Erik Larsen, Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet
Per Bovbjerg Pedersen, DTU Aqua
Richard Skøtt Rasmussen, DTU Aqua
Anne Johanne Tang Dalsgaard, DTU Aqua

December 2009

0	Sammenfatning	3
1	Indledning	8
2	Beskrivelse af dambruget	11
2.1	Indretning	11
2.2	Måleprogram og måleperiode	12
2.3	Væsentlige vilkår	14
3	Drift og produktion	16
3.1	Foderforbrug, produktion og foderkvotient	16
3.2	Produktionsbidrag	17
4	Temperatur, pH og ilt	20
5	Vandflow i dambruget	26
5.1	Måling af vandflow	26
5.2	Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler	27
5.3	Vandbalance	28
5.4	Recirkulationsflow	30
5.5	Vandforbrug/fodermængde	30
5.6	Hydraulisk belastning af plantelagunen	30
6	Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget	31
7	Overholdelse af udlederkrav	40
8	Massebalancer	43
8.1	Produktionsbidrag:	43
8.2	Massebalancer	43
9	Rensegrader og stoffjernelse	47
9.1	Beregning af rensegrader	47
9.2	Rensegrader over hele dambruget	47
9.3	Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelaguner	50
9.4	Sammenligning af stoftab over dambruget	57
10	Vandløbsfauna	62
10.1	Fysiske forhold i Grindsted Å og Grene Å	62
10.2	Smådyrsfauna	62
11	Planter i grødefyldte bassiner	65
12	Diskussion	69
13	Litteraturliste	90

0 Sammenfatning

De samlede miljømæssige fordele ved modeldambrug er mangetallige, som blandt andet oplistet vedrørende især uhindret faunapassage i Dambrugsudvalgets rapport (*Dambrugsudvalget, 2002*):

Vandløbet	Dambruget
Fordele: <ul style="list-style-type: none"> • "Død å"-strækning fjernes • Øget vandføring i dambrugen omløb • Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt • Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene • Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres • Passageproblemer ved dambrugen opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere • Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres • Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes • Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås Ulemper: <ul style="list-style-type: none"> • Ingen 	Fordele: <ul style="list-style-type: none"> • Stabile produktionsforhold • Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres • Øget effekt af renseforanstaltninger • Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren • Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet • Reduceret smittepres • Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning • Bedre arbejdsmiljø Ulemper: <ul style="list-style-type: none"> • Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk • Øget udledning af CO₂ • Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer • Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene • Øget behov for backupsystemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.

Der er tidligere udgivet en statusrapport for det første måleår ved Nørå Dambrug (*Svendsen et al., 2007*). I denne statusrapport, som primært omhandler andet driftsår for Nørå Dambrug som modeldambrug, beskrives de opnåede resultater fra monitoringsprojektets måle- og dokumentationsprogram. Programmet har til formål at fremskaffe dokumentation for dambrugenens rensning og udledning af næringsstoffer og organisk stof. Der er medtaget en række væsentlige resultater fra år 1 for at kunne sammenligne resultater mellem de to måleår. Der er også medtaget resultater fra første måleår for emner, som ikke blev medtaget i statusrapporten for det første måleår. Endvidere er medtaget resultater fra første måleår, hvor der er lavet korrektioner ift. indhold af kvælstof og fosfor i fisk og for produktionsbidraget af COD og BI₅ og forholdet mellem disse. Dette

har medført justeringer i produktionsbidraget og hermed i beregnede rensegrader og udlederkontrollen ift. statusrapporten for første måleår, men ændrer ikke væsentligt ved de overordnede resultater for det første måleår. Der drages nogle konklusioner for resultaterne for de to måleår på dambruget. Hermed kan og bør denne status rapport for andet måleår også anvendes som en samlet rapportering for de væsentligste resultater for de to måleår under forsøgsordningen for Nørå Dambrug. Der henvises i øvrigt til den samlede rapportering af måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug, hvor resultaterne fra Nørå Dambrug er sammenlignet med resultaterne fra de andre 7 modeldambrug under forsøgsordningen (*Svendsen et al., 2008*).

Produktionsforhold

Nørå Dambrug har i perioden 6. september 2006 til 5. september 2007 anvendt 377,6 tons foder med en beregnet produktion på 410,5 tons fisk (inkl. døde). Dette giver en samlet foderkvotient på 0,920. De tilsvarende værdier for første måleår fra 6. september 2005 til 5. september 2006 er anvendelse af 296,5 tons foder, en beregnet produktion på 342,4 tons fisk og en foderkvotient på 0,866.

Efter nogle måneders drift år 1 er der ændret på det interne vandflow, så dette ikke længere er adskilt mellem selve produktionsanlægget og sæt-tefiskeanlæg plus leveredamme, hvilket har givet en mere stabil drift.

Midtvejs i 1. driftsår blev slambassinernes kapacitet udvidet med 50 %.

Dambrugets årlige foderkvote er på 350 t/år.

Vandforbrug

Nørå Dambrug indtager nu vand alene fra en række borer placeret nær vandløb og plantelagune. Hertil kommer, at vandforbruget i forbindelse med betydelig recirkulering (recirkuleringsgrad 91-95 %) er nedsat fra ca. 330 l/s før ombygning til 42,5 l/s i andet måleår (knap 13 % af før).

Der er et relativt stort vandtab over plantelagunen på 9,7 l/s år 2 svarende til 23 % (var 33 % i år 1). Mod slutningen af måleperioden er der en tendens til at vandtabet aftager.

Rensegrader

Ved forarbejdet i bekendtgørelse om modeldambrug m.v. blev der forudsat nogle nettorensgrader for organisk stof og næringsstoffer på modeldambrug. I nedenstående tabel er de i bekendtgørelsen for modeldambrug, når der er mikrosigtede, forudsatte nettorensgrader sammenlignet med de på Nørå Dambrug opnåede.

	Forventet	Opnået 1. år	Opnået 2. år
Organisk stof (BI₅)	80 %	98 %	95 %
Total kvælstof (inkl. omsætning plantelaguner)	30 %	80 %	66 %
Total Fosfor	65 %	97 %	95 %

De opnåede rensegrader honorerer således til fulde de forudsatte for alle parametre, men er i særdeleshed bedre for organisk stof og fosfor, hvor endog meget gode rensegrader er opnået.

Produktionsanlægget med dets slamkegler, mikrosigte og biofiltre fjerner år 2 netto især ammonium (81 %), fosfor (89 %) og 84 % af tilført organisk stof samt 29 % af total kvælstof. Desværre returneres relativt store mængder af de frarensede stoffer via slambassinets klaringsvand til plantelagunen. Plantelagunen fjerner især tilført organisk stof (69 % af BI₅) og total-fosfor (68 %) samt en del total-kvælstof (42 %), primært via nitratfjernelse (71 % af kvælstof-fjernelsen i lagunen) mens resten er partikulært kvælstof og også ammonium-kvælstof (11 % af fjernelsen i lagunen).

Rensegraderne i plantelagunerne er for alle parametre en faktor 1½ til 3 gange højere end dem, der blev fundet i tidligere forsøg på Døstrup Dambrug, som udgjorde en del af grundlaget for de forudsatte rensegrader. Der skal tages højde for, at det relativt store tab af vand over plantelagunen, i et eller andet omfang må antages at føre opløste stoffer med sig, således at plantelagunens rensegrader er et maksimumsmål.

Specifik udledning

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelser for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI₅, 1.119 t total kvælstof og 90 t total fosfor ved en produktion på 29.434 t ørreder, mens der ifølge den seneste opgørelse (inkl. de etablerede modeldambrug type 1 & 3) i 2007 udledtes 2.343 t BI₅, 673 t total kvælstof og 60 t total fosfor ved en produktion på 27.843 t ørreder og forbrug af 25.710 t foder (*By- og Landskabsstyrelsen, 2009*). Tallene svarer til gennemsnitlige specifikke udledninger som angivet i nedenstående tabel, hvor 2003-tallene er medtaget for at give sammenligningsgrundlag med erhvervets udledning før Modeldambrug og med tidligere rapporter, og 2007-tallene alene er medtaget for at kunne sammenholde med de nyeste tal:

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Nørå Dambrug i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit	Nørå Dambrug	Nørå Dambrug	År 1	År 2
	Danmark	- 1. måleår	- 2. måleår		
Organisk stof (BI ₅)					
-2003	105,3	1,9	4,1	2	4
-2007	84			2	5
Total-N					
-2003	38,0	7,1	13	19	34
-2007	24			30	54
Total-P					
-2003	3,1	0,13	0,19	4	6
-2007	2,2			6	9

Som det fremgår, er der markant reduceret specifik udledning for organisk stof og fosfor, mens kvælstof-reduktionen er mindre markant, dog stadig kun det halve af end gennemsnittet af danske ferskvandsdambrug.

Overholdelse af udlederkrav jvf. Ribe Amts miljøgodkendelse

I miljøgodkendelsen har Ribe Amt opstillet en række kontrolparametre med tilhørende kravværdi.

Kontrol-Parameter	Kravværdi i Miljøgodkendelse	Teoretisk kravværdi jvnf. Dambrugsbekendtgørelsen	Udledning, beregnet efter Bekendtg. om modeldambrug	Udledning, beregnet efter Bekendtg. om modeldambrug
(alle tal i mg/l)			År 1	År 2
Susp. stof	10	18,9	-2,06	-0,34
NH₄⁺	1,0	2,5	1,82	4,59
Total-N	4,4	3,8	5,80	7,15
Total-P	0,36	0,32	0,10	0,12
BI₅	5,1	4,4-6,3	1,84	2,58

Det ses, at Nørå Dambrug for suspenderet stof, total fosfor og BI₅ overholder udlederkravene til fulde uanset kontrolmetode. For ammonium og især derved også total kvælstof overskrides kravet uanset hvilken kontrolmetode der anvendes. Selv om de forudsatte rensegrader til fulde overholdes, er udlederkravene for kvælstof så restriktive at disse ikke har kunnet overholdes.

Fauna og faunaindex

Dansk Vandløbs Fauna Index (DVFI) er opgjort således:

	Grindsted Å, opstrøms	Grene Å, opstrøms	Grindsted Å, nedstrøms
Marts 2004	5	-	4
Februar 2005	5	5	4
April 2005	5	-	4
September 2005	5	-	5
September 2005	7	3	4
Marts 2006	5	-	4
Juni 2006	5	5	5
September 2006	7	-	4
December 2006	5	4	5
Juni 2007	4	4	4

Som det fremgår, er der generelt målopfyldelse på opstrøms-stationen i Grindsted Å, mens der ikke er det i Grene Å, der tilløber umiddelbart efter dambruget (inden nedstrømsstationen i Grindsted Å). Vurdering af betydningen af belastningen fra Nørå Dambrug på tilstanden i Grindsted Å vanskeliggøres i høj grad af, at Grene Å er væsentligt belastet fra opstrømsbeliggende punktkilder, hvorfor Grene Å påvirker tilstanden i Grindsted Å nedstrøms for Nørå Dambrug.

Diskussion og primære udeståender

De opnåede rensegrader og den resulterende specifikke udledning er overordnet meget acceptable og modsvarer til fulde de opstillede forudsætninger, men for ammonium og total kvælstof kan der være behov for en forstærket indsats. Resultaterne har været påvirket af nogle driftsforhold, såsom ikke-optimalt vandflow i produktionsanlægget i begyndelsen af år 1, for lille kapacitet i slambassinerne i den første halvdel af år 1 og et tilfælde af større fiskedød år 2 grundet høje nitrit koncentrationer.

Der må antages i et eller andet omfang at følge opløste stoffer med det vand, der netto siver ud af bunden i plantelagunerne. Kun en lille del af dette stof kan dog antages at nå frem til Grindsted Å. Selv ved en faglig urealistisk worst case betragtning vil de beregnede rensegrader ligge pænt over de forudsatte.

Der fjernes overordnet for lidt ammonium, dels grundet utilstrækkelig nitrifikation dels grundet sekundær ammoniumdannelse i slambassinerne. Netop ammonium har plantelagunen svært ved at fjerne effektivt, hvorfor udledningen af ammonium, og hermed også total-kvælstof, øges.

For at forbedre ammonium-omsætningen i biofiltrene er der behov for en stabil drift af produktionsanlægget samt især optimerede driftsbetingelser for biofiltrenes mikrobielle aktivitet, herunder hensyntagen til ilt- og pH-forhold, belastningen med organisk stof, returskylningsprocedure m.v.

For yderligere at nedbringe udledningen af kvælstof er der behov for forbedret nitratfjernelse, hvilket kan opnås ved stabil og optimeret drift, samt forøget slambassin- og plantelagune-kapacitet. Et filter specifikt til nitratfjernelse kunne formentlig også bidrage positivt hertil.

Endvidere returneres en større del af den stofmængde, der føres over i slambassinerne fra produktionsanlæggets slamkegler, mikrosigter og biofiltre med klaringsvandet til plantelagunerne. Det vil derfor være hensigtsmæssigt at forsøge at øge stoftilbageholdelsen/-fjernelsen i slambassinerne bl.a. ved at sikre at slamperkulat kan klare, før der afledes klaringsvand.

Endelig anbefales det at prøve at optimere tømningssfrekvens/-måde af slamkegler, returskylning af biofiltre samt placering og drift af mikrosigter.

1 Indledning

Som et af resultaterne fra det af fødevareministeriet nedsatte dambrugsudvalg (Udvalget vedr. dambrugserhvervets udviklingsmuligheder) blev der i dette udvalgs rapport, marts 2002 (*Dambrugsudvalget, 2002*), peget på muligheden af etablering af mere ensartede typedambrug eller såkaldte modeldambrug.

Det ensartede koncept i modeldambrugene skulle muliggøre, at dokumentation samt viden og erfaring indhentet herpå, kunne finde anvendelse på andre modeldambrug af samme type, således at såvel drift som sagsbehandling, tilladelser m.v. kunne smidiggøres.

I såvel sideløbende som efterfølgende arbejder (f.eks.: *Pedersen et al. 2003; Svendsen & Pedersen, 2004*) samt notater og Bekendtgørelser (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002* og *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug, 2004*) er de nærmere specifikationer og krav til modeldambrug blevet defineret og fastlagt.

Tre typer modeldambrug er beskrevet (type 1, 2 og 3), hvor der for type 2 og 3 er åbnet for en deltagelse under en 2-årig forsøgsordning, i hvilken periode monitorering af den resulterende miljømæssige effekt skulle måles.

Ingen dambrug har ønsket ombygning til type 2 under forsøgsordningen, mens 8 dambrug af type 3 blev udvalgt til deltagelse i denne. Nørå Dambrug er et af disse.

Det skal understreges, at listen over miljømæssige fordele ved modeldambrugsdrift er lang, som opgjort i Dambrugsudvalgets rapport jvf. nedenstående tabel. Disse miljømæssige fordele opnås under alle omstændigheder ved etablering af modeldambrug. Efterfølgende har listen kunnet suppleres med flere fordele og enkelte ulemper (*Dansk Akvakultur, 2008*).

Ifølge projektansøgningen er det projektets hovedformål at få dokumenteret og fastlagt den resulterende, specifikke udledning af kvælstof, fosfor og organisk stof (BI₅) fra modeldambrug. Det er desuden formålet at få dokumenteret og fastlagt rensegraderne af de forskellige rensekomponenter, som finder anvendelse på modeldambrugene (slamkegler, biofiltre (kombifiltre), recirkulering, plantelaguner), herunder at få fastlagt produktionsbidraget under forskellige forhold, ligesom foderspild under daglig drift må kvantificeres. Det er endelig også projektets formål at søge at belyse nogle af de væsentligste processer og sammenhænge, der fører til de resulterende renseeffekter. Herved er det intentionen at opfylde dokumentationskravene, herunder at fremskaffe den fornødne dokumentation, således som det fremgår af *Bekendtgørelsen om modeldambrug (2002)* og *Bekendtgørelsen om ændring af bekendtgørelsen om modeldambrug (2004)*. Ifølge bekendtgørelse skal DMU (tidligere under Miljøministeriet nu ved Århus Universitet) og DFU som har ændret navn til DTU Aqua opstille et måleprogram, der skal tilvejebringe den omtale dokumentation.

Vandløbet	Dambruget
Fordele: <ul style="list-style-type: none"> • "Død å"-strækning fjernes • Øget vandføring i dambrugenes omløb • Påvirkning af opstemning opstrøms reduceres, fjernes evt. helt • Naturlige variationer i vandløbets vandføring opretholdes i omløbene • Indtrængen af naturlig fauna i dambrugene reduceres • Passageproblemer ved dambrugenes opstemninger og vandindtag, herunder afgitring, indretning af faunapassage (både op- og nedstrøms), opstemning m.v. løses langt nemmere • Udledning af medicin og hjælpestoffer reduceres • Maksimumskoncentrationer af medicin og hjælpestoffer i vandløbene formindskes • Fald i vandløbets iltindhold nedstrøms reduceres/undgås Ulemper: Ingen	Fordele: <ul style="list-style-type: none"> • Stabile produktionsforhold • Påvirkninger fra variationer i indløbsvandets kvalitet reduceres eller elimineres • Øget effekt af renseforanstaltninger • Ved brug af drænvand/grundvand kan opnås højere vandtemperaturer om vinteren og lavere om sommeren • Bedre muligheder for styring af management og produktionsmiljøet • Reduceret smittepres • Reduceret behov for anvendelse af medicin og hjælpestoffer, herunder kalkning • Bedre arbejdsmiljø Ulemper: <ul style="list-style-type: none"> • Højere energiforbrug pr. kilo produceret fisk • Øget udledning af CO₂ • Risiko for opbygning af skadelige ammoniakkoncentrationer • Øget behov for overvågning og styring af driftsforholdene • Øget behov for backup-systemer: strøm, iltforsyning, pumper m.v.

De 8 modeldambrug monitoreres derfor løbende af DMU og DTU Aqua over en 2-årig driftsperiode. På nogle dambrug måles der både over hele dambruget og de enkelte delkomponenter i produktionsanlægget, de såkaldte intensivt monitorerede dambrug, mens der på øvrige som Nørå Dambrug alene måles over hele dambruget og det samlede produktionsanlæg.

Dette arbejde er blevet udført på baggrund af bevilling fra Fødevareministeriets Direktorat for FødevareErhverv via FIUF- midler, og er således støttet med 50 % fra den Danske Stat og 50 % fra EU. Der takkes hermed for den tildelte bevilling.

Dokumentations- og monitoringsprojekt følges af en følgegruppe bestående af:

Niels Axel Nielsen, Fmd., direktør for Myndighedsbetjening og Sektorudvikling DTU (tidl.: direktør Danmarks Fiskeriundersøgelser)

Torben Moth Iversen, projektchef DMU, Århus Universitet (tidl. vicedirektør DMU)

Mette Selchau, Fødevareministeriet; erstattede august 2007 Knud Larsen, Fødevareministeriet

Thomas Bjerre Larsen, Miljøstyrelsen; erstattede august 2007 Gitte Larsen, Skov- og Naturstyrelsen

Henrik Haarh, Direktoratet for FødevareErhverv; erstattede januar 2007 Lars Christensen Clink, Direktoratet for FødevareErhverv

Jens Ole Frier, Ålborg Universitet

Jacob Larsen, Holstebro Kommune (tidl.: Ringkøbing Amt)

Lenny Stolborg, Ikast-Brandø Kommune; erstattede januar 2007 Henning Christiansen, Ribe Amt

Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur

Helge A. Thomsen, forskningschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser)

samt Per Bovbjerg Pedersen, sektionschef DTU Aqua (tidl.: Danmarks Fiskeriundersøgelser) og Lars M. Svendsen, projektchef Danmarks Miljøundersøgelser ved Århus Universitet.

Følgegruppen takkes for et positivt og konstruktivt samarbejde med gode input og råd undervejs i projektførelsen.

I juli 2008 er udgivet en samlet faglig rapport, der kom med en samlet status og konklusioner over 2 års drift og målinger på de 8 modeldambrug (*Svendsen et al, 2008*). Heri er foretaget sammenligninger på tværs af dambrugene og givet de samlede konklusioner for hele måle- og dokumentationsprojektet sammen med nogle anbefalinger. Nærværende statusrapport indeholder derimod alene målinger for Nørå Dambrug med fokus på 2. måleår med hvor de væsentligste resultater fra 1. måleår også er medtaget. Resultater for 1. måleår er oprindeligt rapporteret i *Svendsen et al. (2007)*.

Sluttelig skal der lyde en stor tak til alle andre involverede personer, institutioner m.v. som på hver sin vis har bidraget i det store arbejde. Specifikt takkes dambrugsejer Knud Gunderlund og dambrugets medarbejdere samt teknisk personale ved DMU, Århus Universitet: Uffe Mensberg, Henrik Stenholt, Ane Kjeldgaard, Zdenek Gavor, Marlene Venø Skjærbæk Jessen, Tommy Silberg og Carsten Nielsen og ved DTU Aqua (DFU): Tommy Nielsen, Peter Faber, Torben Filt Jensen, Ole Madvig Larsen, Jesper Knudsen, Milan Pavlovic og Erik Poulsen. Der skal også lyde en tak for samarbejde med Dansk Akvakultur og deres konsulenter: Peder Nielsen (nu Nielsen Consult), Kaare Michelsen og Lisbeth Jess Plesner.

2 Beskrivelse af dambruget

2.1 Indretning

Nørå Dambrug (Løvlund Dambrug ApS, Annexvej 9, 7190 Billund) er beliggende ved Grindsted Å, der er en del af Varde Å-systemet. Varde Å har et samlet opland på ca. 1.100 km², og den har sit udløb i Ho Bugt i Vadehavet, der således er slutrecipient. Ved dambruget er medianminimumvandføringen på 330 l/s (*Ribe Amt 2004 a og b*). Umiddelbart nedstrøms dambruget er der tilløb fra Grene Å, hvorved medianminimum stiger til ca. 930 l/s, men dette har ikke indgået i amtets grundlag for miljøgodkendelsen.

Dambruget er indrettet som et modeldambrug type III A (*Pedersen et. al., 2003*).

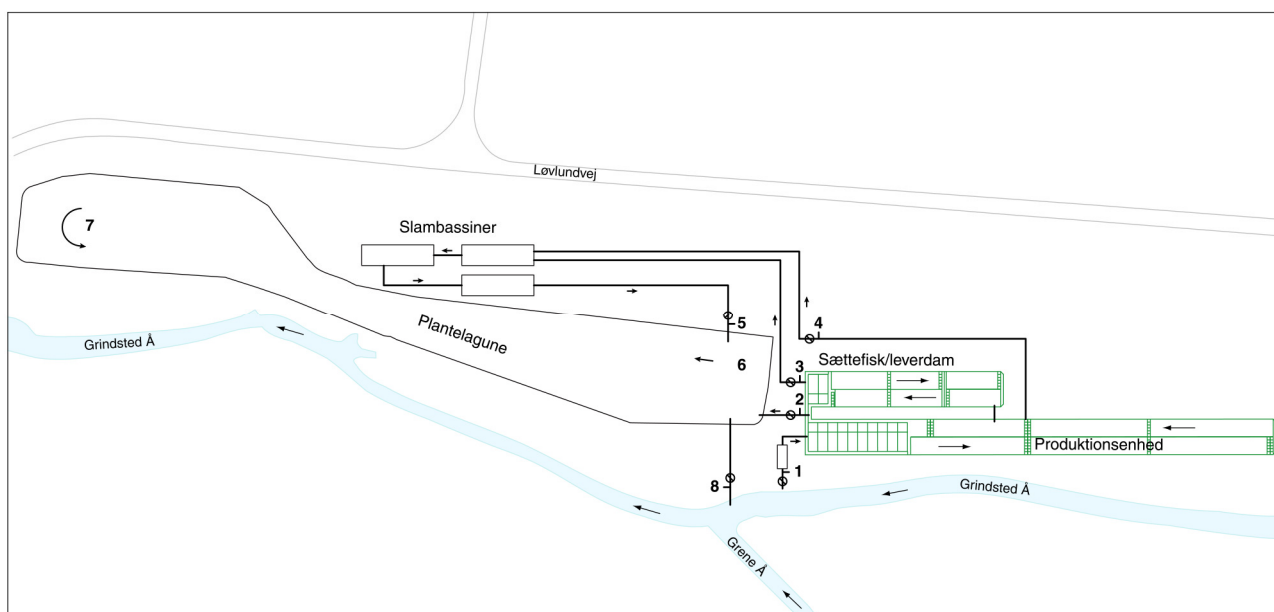
Dambruget består af én stor produktionsenhed, der er underopdelt i 6 sektioner. Derudover er der en sættefiskenhed med 4 sektioner og 2 leveredamme. Det recirkulerede vand ledes igennem et biofilter, der er opdelt i 12 sektioner. I begyndelsen af driftsperioden (første måneder inde i det første måleår af måleår 1) var vandet adskilt mellem produktionsenheden og sættefiskeenheden, men for at få produktionen til at køre tilfredsstillende har det været nødvendigt at drive det som et samlet anlæg med delvist sammenhængende flow, herunder at alt produktionsvand passerer biofiltret. Måleprogrammet er derfor tilpasset dette og opgørelserne for hele 1. og 2. måleår er opgjort svarende til det ændrede (lettere reducerede) måleprogram. Figur 1 er en principskitse af dambrugets opbygning med angivelse af vandflow.

Friskvandsindtaget kommer fra en række boringer, og det løber igennem et kalkningsanlæg inden det indgår i produktionen. Vandet bringes til at cirkulere i produktionsenhederne ved air-lift princippet, dvs. ved at den beluftning, som tilfører ilt til vandet, også løfter dette nogle centimeter. Beluftningen sker i såkaldte belufter-brønde.

Slam opsamles i pyramideformede slamkegler i bunden af produktionsenheden og pumpes sammen med skyllevand fra biofiltrene og mikrosigterne op i 3 serieforbundne slambassiner (i de første 8 måneder af måleår 1 var der dog kun 2 slambassiner). Afløbsvandet fra produktionsenheden og klaret vand fra slambassinerne ledes til en plantelagune, hvorfra det løber til Grindsted Å. Plantelagunen består af en del af de oprindelige jorddamme, kanaler og bundfældningsbassiner.

Produktionsenheden er ca. 120 meter lang og 12 meter bred med en vanddybde på ca. 1,5 meter. Sættefiskenheden er ca. 55 meter lang inkl. leveredamme og 12 meter bred. I alt er der ca. 3.600 m³ vand i det samlede produktionsanlæg inkl. kanaler og filtre. Slambassinerne har en samlet kapacitet på ca. 1.000 m³. Plantelagunen har et areal på godt 6.700 m² med en middeldybde på godt 0,8 m. Totalt har dambruget dermed et vandvolumen på ca. 10.300 m³. Med et samlet vandindtag på gennemsnitligt 37,1 l/s i det første måleår og 42,5 l/sek. i det andet år (jf. kap. 5)

giver det en opholdstid på ca. 77 henholdsvis 67 timer over hele dambruget. Opholdstiden for selve produktionsanlægget (fraset slambassiner) er på 27 henholdsvis 24 timer mod en forudsat minimumsopholdstid på 18,5 timer i produktionsanlægget for modeldambrug type III (*Bekendtgørelse som modeldambrug*, 2002).



Figur 1 Nørå Dambrug (ikke målfast) opbygning og vandflow. Nr. angiver målesteder som listet i tabel 1.

2.2 Måleprogram og måleperiode

Efter en kort indkøringsfase starter måleprogrammet på Nørå Dambrug som en del af forsøgsordningen officielt den 6. september 2005. Første måleår er derfor fra 6. september 2005 til 5. september 2006 begge dage inklusive, og 2. måleår er fra 6. september 2006 til 5. september 2007.

I hele måleperioden har der kontinuert (hvert 10. minut) været målt vandmængde, vandhastighed, vandstand, nedbør, ilt, temperatur og pH ved en eller flere målepunkter på dambruget (tabel 1). De instrumenter, som måler kontinuert er typisk tilsluttet en datalogger, hvorfra data overføres til en PC som er placeret på dambruget. Data overføres via Internettet fra Pc'en til DTU Aqua og lægges ind i en fælles database som DTU Aqua og DMU, Århus Universitet anvender i projektet. Vandmængder måles i de fleste målepunkter med en elektronisk måler, et såkaldt vandur. I udløbet er der målt med vandur, da det samlede udløb fra dambruget sker via et rør. Vandstand måles dels med tryktransducere, i slambassinerne med ultralydsmåler. I *Svendsen & Pedersen (2004)* findes flere informationer og baggrund og krav til måleprogram og en række tekniske detaljer. Endvidere er der i rapporten, der konkluderer på resultaterne for alle 8 modeldambrug under forsøgsordningen (*Svendsen et al., 2008*), i et bilag kort gjort rede for måleprincipper og hvilke instrumenter, der har været anvendt.

Godt midtvejs i første måleår blev der ændret på det vandkemiske prøvetagningsprogram (se *Svendsen et al., 2007*). Fra dette tidspunkt og resten

af de to måleår blev prøver taget i de punkter, der er angivet i tabel 1 og massebalancer m.v. er for hele perioden beregnet efter dette prøvetagningsprogram, da det er en delmængde af det oprindelige prøvetagningsprogram.

Nr.	Sted på dambruget	Målevariabel
1	Samlet vandindtag fra boring	K, F, S
2	Samlet udløb, produktionsanlæg ink. sættefiskeanlæg, leveredamme	K, F, S
3	Til slambassin fra produktionsanlæg, sættefiskeanlæg, leveredamme. Sum af skyllevand biofiltre og slamvand fra slamkegler.	K, F,
4	Spulevand fra mikrosigter	K, F, S, V
5	Udløb klaret slamvand	K, F, S
6	Plantelagune, øvre del	S
7	Plantelagune, midt	S
8	Udløb plantelagune/dambrug	K, F, S, N

Tabel 1 Oversigt overmålepunkter på Nørå Dambrug. Tallene til højere refererer til det konkrete målepunkt på figur 1. Der er anvendt følgende forkortelser: K: Prøvetagning for kemiske analyser. F = Vandmængde. V = vandstand (første slambassin). N = nedbør og S = ilt, pH og temperatur.

Vandkemiske prøver er for indtagsvand målt som en punktprøve (øjebliksprøve) ca. 1 gang pr. måned eller i alt 12 gange i perioden. Vandkemiske prøver fra:

- nedstrøms biofilter (svarende til afløb fra produktionsanlægget)
- i klaringsvandet fra slambassinerne
- i afløbet fra plantelagunen (samlet afløb fra dambruget)

udtages hver 14. dag med ISCO-glacier vandprøvetagere. En prøve består af en puljet prøve over et døgn, hvor der i en stor flaske tages 100 ml delprøve hvert kvarter, svarende til 9,6 l prøve på 24 timer pr. målested. En prøve består af en række delprøver, der er puljet over et døgn i en stor flaske. Hver delprøve er på ca. 100 ml som udtages hvert kvarter, svarende til ca. 9,6 l prøve på 24 timer pr. målested. Prøvetageren er udstyret med køleanlæg og prøverne opbevares mørkt. Ved hvert målested er der målt i alt 26-27 gange i andet måleår.

Herudover er der hver 14. dag taget vandkemiske prøver i forbindelse med:

- tømning af slamkegler
- returskyllning af biofiltre
- spulevand fra mikrosigte

Der er ligeledes taget puljede prøver men i 1 liters flasker, hvorfra der puljes til en samlet prøve. Afhængig af, hvor lang tid det tager at tømme henholdsvis slamkegler, returskylle biofiltre og opsuge prøver af skyllevandet fra mikrosigterne tages en række hyppige delprøver for repræsentativt at dække hele tidsperioden. Disse prøver tages med ISCO 6712-

1 vandprøvetagere (som indeholder 24 separate 1 l flasker), hvori prøverne også står koldt (4° C) og mørkt. Ved hvert målested er der målt i alt 26-27 gange i andet måleår.

De vandkemiske prøver er analyseret for en række kemiske variable fastlagt i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*. Det fremgår af tabel 2, hvilke variable der analyseres for, afhængigt af om der er tale om vandprøvetaget i indtagsvandet (grundvand), slamvand (ved tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre, spulevand mikrosigte), afløb slambassin eller i produktionsanlæg og afløb fra dambruget. Analyserne er gennemført af akkrediteret laboratorium efter de standardanalysemetoder, der er foreskrevet ift. dambrug, herunder modificeret BI₅.

Ved de målepunkter, hvor der udtages vandkemiske prøver måles hver 14. dag ilt, temperatur og pH med håndholdte præcisionsinstrumenter, som også anvendes ved kalibrering af de kontinuerte måleinstrumenter.

Parametre	Program A	Program B	Program C
	Fuld pakke: Udløb fra dambrug, op- og nedstrøms biofilter, opstrøms mikrosigte	Grundvand (indtagsvand)	Returskylning biofiltre, tømning slamkegler, afløb slambassin, spulevand mikrosigte
Suspenderet stof (SS)	X	(x)	x
Modificeret BI ₅	X	(x)	x
COD	X	(x)	x
Total fosfor (P)	X	[x]	x
Orthofosfat-P	X	X	x
Total kvælstof (N)	X	[x]	x
Nitrat-nitrit_N	X	X	x
Ammonium_N	X	(x)	x

Tabel 2 Oversigt over de kemiske parametre som de vandkemiske prøver, der er udtaget 1. og 2. måleår på Nørå Dambrug analyseres for. x i parentes angiver at disse parametre efter at være målt nogle gange kun måles 2-3 gange om året, hvis det viser sig at værdien konsekvent er under detektionsgrænsen, mens x i kantet parentes viser at total kvælstof henholdsvis total fosfor ikke måles hver gang, hvis der ikke er signifikant forskel på totalen ift. de opløste fraktioner. BI₅ er et mål for let omsætteligt organisk stof (biologisk iltforbrug over 5 dage). COD er et mere omfattende mål for organisk stof end BI₅, da det er et mål for det kemiske iltbehov for at omsætte det organiske stof. Ammonium er primært NH₄-N.

2.3 Væsentlige vilkår

I henhold til dambrugets miljøgodkendelse af 28. september 2004 (*Ribe Amt 2004 a og b*) må der i forsøgsperioden anvendes 350 tons foder pr. år.

Miljøgodkendelsen angiver det maksimalt tilladelige vandforbrug til 52,5 l. pr. sek. Oplysninger om plantelagunens størrelse er ikke nærmere anført i miljøgodkendelsen, men plantelagunen er opmålt til cirka 6.700 m² (se kapitel 11).

Iltmætningen i udløbsvandet skal være mindst 70 %, og der må maksimalt udledes følgende stofmængder fra dambruget:

- BI_5 : 5,1 mg/l
- $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$: 1,0 mg/l
- Suspenderet stof: 10 mg/l
- Total-N: 4,4 mg/l
- Total-P: 0,36 mg/l

Krav til udledning af alle stofferne er omfattet af tilstandskontrol (DS 2399).

3 Drift og produktion

3.1 Foderforbrug, produktion og foderkvotient

På Nørå Dambrug er der i første måleår, dvs. perioden 6. september 2005 til 5. september 2006, brugt 296,5 tons foder. I takt med at man har fået mere erfaring med drift af anlægget mv. er der brugt mere foder, så i andet måleår (6. september 2006 til 5. september 2007) er foderforbruget 377,6 tons. Det daglige foderforbrug er vist i figur 2.

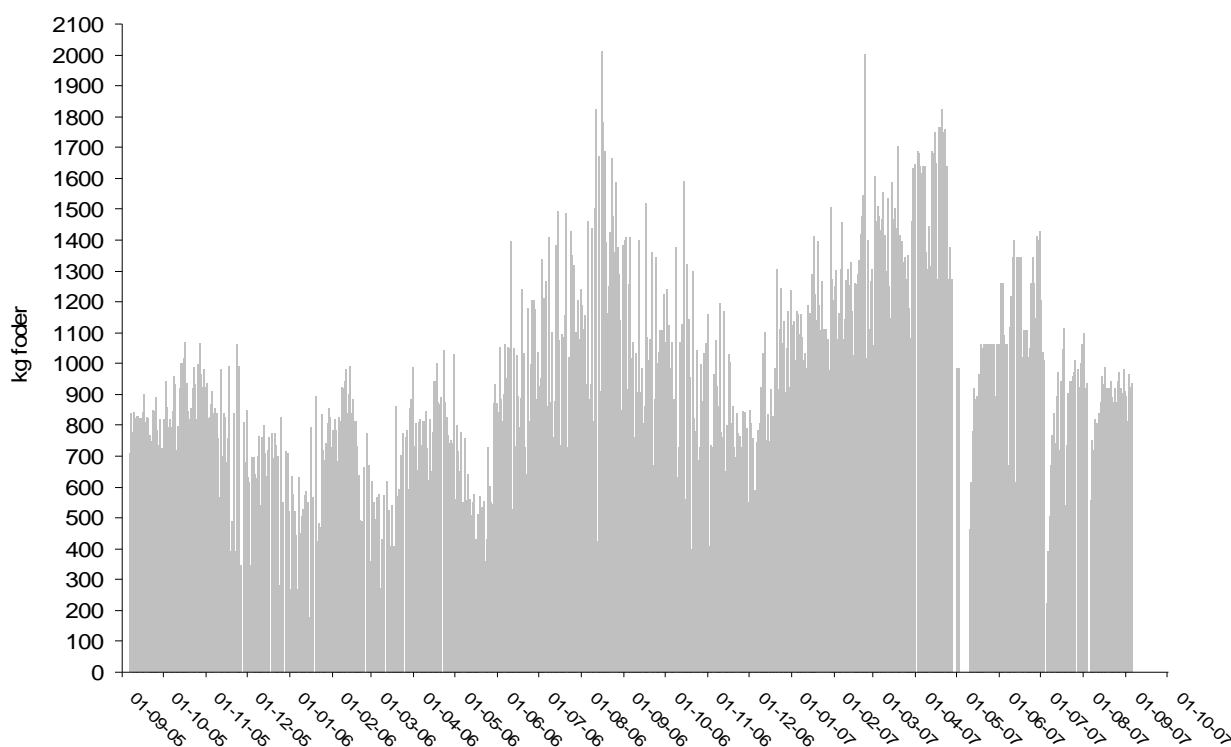
På baggrund af oplyste start- og slutbestande, samt ind- og udfiskninger i perioden er der beregnet en produktion på 342,4 tons fisk i første måleår. Dette giver en samlet foderkvotient (foderforbrug (ton) / fiskeproduktion inkl. døde fisk (ton)) på 0,866.

For andet måleår er det ikke været muligt at beregne foderkvotienten på et tilfredsstillende datagrundlag. Derfor er foderkvotienten estimeret på baggrund af dambrugets egne udregninger, den størrelse fisk der produceres, de anvendte fodertyper og de driftsmæssige forhold på dambruget i andet måleår. Foderkvotienten for andet måleår er estimeret til 0,920, og denne værdi er herefter anvendt i samtlige udregninger af dambrugets produktionsbidrag. Dette giver en samlet produktion i andet måleår på 410,5 tons fisk. Foderkvotienten er højere i andet måleår end i første måleår, hvilket formentlig skal forklares ved, at man trods større produktion i andet måleår har haft perioder med stor dødelighed og nedsat appetit. I maj 2007 døde f.eks. omkring 12 tons fisk grundet forhøjede nitritkoncentrationer (NO_2^-). Ved tilsætning af salt kan man dog efterfølgende afgifte fiskene, og derved forhindre yderligere dødelighed.

Fodertyper og de foder-mængder som er anvendt i dambrugets produktionsanlæg i de to måleår fremgår af tabel 3.

Fodertype	Foderforbrug (kg)	
	1. måleår	2. måleår
Dana Feed DAN-EX 2844 (2-4 mm)	290.593	377.433
Dana Feed DAN-EX 3044 (2-3 mm)	221	0
Dana Feed DAN-EX 2452 (1,5 mm)	5.697	209

Tabel 3 Fodertyper og -mængder anvendt Nørå Dambrug i første og andet måleår



Figur 2 Det daglige foderforbrug på Nørå Dambrug i kilo pr. døgn i begge måleår

3.2 Produktionsbidrag

Udregningen af bidrag af de forskellige stoffer fra fiskeproduktionen (produktionsbidrag) er foretaget som beskrevet i *Pedersen et al. (2003)*. Der er udregnet produktionsbidrag for COD (total organisk stof), BI_5 (let-omsætteligt organisk stof), total N (total kvælstof), total P (total fosfor) og opløst kvælstof, der overvejende forekommer som NH_4^+-N (ammoniumkvælstof).

På baggrund af de senest opnåede resultater, er produktionsbidragene blevet reviderede ift. de tal som er afrapporteret i 1. årsrapporten. Det gennemsnitlige indhold af total kvælstof og total fosfor i hel regnbueørred er blevet revurderet på baggrund af resultater, som inddrager den seneste litteratur indenfor området. Således ansættes tallet for kvælstof i hel fisk nu til 2,75 % af fiskens totale vådvægt, og fosforindholdet til 0,43 %. De tidligere anvendte værdier har været henholdsvis 3 % og 0,5 %. Litteraturgennemgangen har vist, at indholdet af kvælstof og fosfor i regnbueørred påvirkes af fiskens størrelse, men at størrelseeffekten er lille. Dette gælder især indenfor de almindelige fiskestørrelser (ca. 300-1.000 g), der undersøges i nærværende modeldambrugsprojekt. Der er derfor ikke taget højde for de konkrete fiskestørrelser i udregningen af produktionsbidrag for kvælstof og fosfor. Samlet betyder justeringerne en mindre stigning i produktionsbidragene af kvælstof og fosfor i forhold til de tidligere udmeldte værdier i førsteårsrapporten (*Svendsen et al., 2007*). I *Svendsen et al. (2008)* er der redegjort mere detaljeret for ændringer i beregning af produktionsbidraget ift. tidligere beregninger.

Produktionsbidragene af organisk stof (COD og BI_5) er også blevet reguleret og opjusteret i forhold til førsteårsrapporten. Det skyldes nye data for det stoffbidrag og -tab, der sker direkte til vandfasen enten som opløst

eller finpartikulært stof. Der er udført nye undersøgelser på disse tab for den mest anvendte fodertype fra hver af foderproducenterne Aller Aqua, Biomar og Dana Feed (se detaljer i *Svendsen et al., 2008*).

Det bemærkes, at dette tab ikke nødvendigvis kan forventes at være permanent for de anvendte fodertyper. Årsagen er, at fiskefoder løbende udvikles og ændres med hensyn til råvarer og sammensætning, og disse forhold vil have betydning for stoftabet til vandfasen og dermed stofbidraget fra fiskeproduktionen.

Udover total kvælstof bidraget fra fiskeproduktionen udregnes også bidraget af opløst kvælstof som hovedsageligt udskilles over fiskenes gæller (primært som $\text{NH}_4^+\text{-N}$). Bidraget svarer til den totale mængde kvælstof som fiskene indtager fradraget det kvælstof som indbygges i fisken (hvor indholdet ansættes til 2,75 %) og det kvælstof, der udskilles i fækalier (partikulært) og dissocieres i vandfasen (opløst):

$$\begin{aligned} \text{kg N udskilt som opløst (NH}_4^+\text{-N)} = \\ \text{kg N indtaget} - \text{kg N indbygget i fisk} - \text{kg N} \\ \text{udskilt via fækalier som partikulært/opløst} \end{aligned}$$

Udregningen af produktionsbidrag er sket på dagsbasis i alle dambrugets sektioner, og bidragene er herefter summerede. Udover de konkrete foder mængder er foderets kemiske sammensætning inddraget i udregningerne. Kemisk analyse er foretaget på de fleste foderleverancer (batches), men hvor disse værdier ikke foreligger, er der anvendt gennemsnitstal for de allerede analyserede, repræsentative fodertyper.

I forbindelse med levering er der beregnet et produktionsbidrag af kvælstof på baggrund af generelle tal for stofomsætning hos fodertomme regnbueørreder. Der vurderes kun at være et marginalt bidrag af organisk stof (COD og BI_5) i forbindelse med levering, idet dette forventes udskilt som kuldioksid (CO_2). Ligeledes forventes kun et marginalt bidrag af fosfor ved levering, hvorfor bidraget af COD, BI_5 og total fosfor herfra er sat til 0.

Det samlede produktionsbidrag de to måleår fremgår af tabel 4.

Måleår	COD	Mod. BI_5	Tot-N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	Tot-P	Bidraget kommer fra
1	79.446	27.806	11.876	9.396	1.712	Produktionsanlægget
2	105.016	36.756	15.756	12.989	1.715	Produktionsanlægget
1	0	0	207	196	0	i forbindelse med levering
2	0	0	248	234	0	i forbindelse med levering

Tabel 4 Produktionsbidrag (kg pr. år) for hvert af de to måleår. Det relativt lille fosforbidrag i andet måleår skyldes et markant fald i foderets fosforindhold

Som led i udregningen af produktionsbidraget udføres der fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper og foderleverancer (batches) til de 8 dambrug under modeldambrugsprojektet. Principet i disse kontrollerede forsøg er at undersøge, hvor stor en del af det indtagne foder - specifikt fedt-, protein- og kulhydratindholdet i foderet - der udskilles som fækalier. Disse værdier er indsat i beregningerne af

produktionsbidrag for den relevante batch. Hvis batchen ikke er undersøgt mht. fordøjelighed, er der anvendt gennemsnitstal fundet for den relevante fodertype. I enkelte tilfælde, f.eks. i forbindelse med leveringer af små foder mængder, er der anvendt estimerede værdier for fordøjeligheden af foderet. Fordøjeligheden af træstof er i alle tilfælde sat til 0.

I den samlede toårige måleperiode er der udført fordøjelighedsforsøg på 11 forskellige foderleverancer til Nørå Dambrug.

Den 23. august 2007 blev der foretaget en foderspildsundersøgelse på Nørå Dambrug. I en af dammene blev der suget med pumpe på bunden af området lige inden udløbsristen. Der blev ikke i nogen tilfælde fundet foderpiller. Pillerne kan dog i et vist omfang blive opløst ved opsugning i filter, men der blev jævnligt kontrolleret for opsamling således at ikke-opløste piller herved skulle kunne identificeres, og der blev suget relativt skånsomt. Dambruget har oplyst, at man kun ser meget begrænset foderspild i produktionsanlægget, men at der undertiden godt kan være lidt spild i sættefiskeanlægget. Man er generelt meget iagttagende overfor foderspild, bl.a. for at sikre god drift af biofilteret. I den forbindelse har man god erfaring med anvendelse af "flydefoder", altså foder med lav synkehastighed.

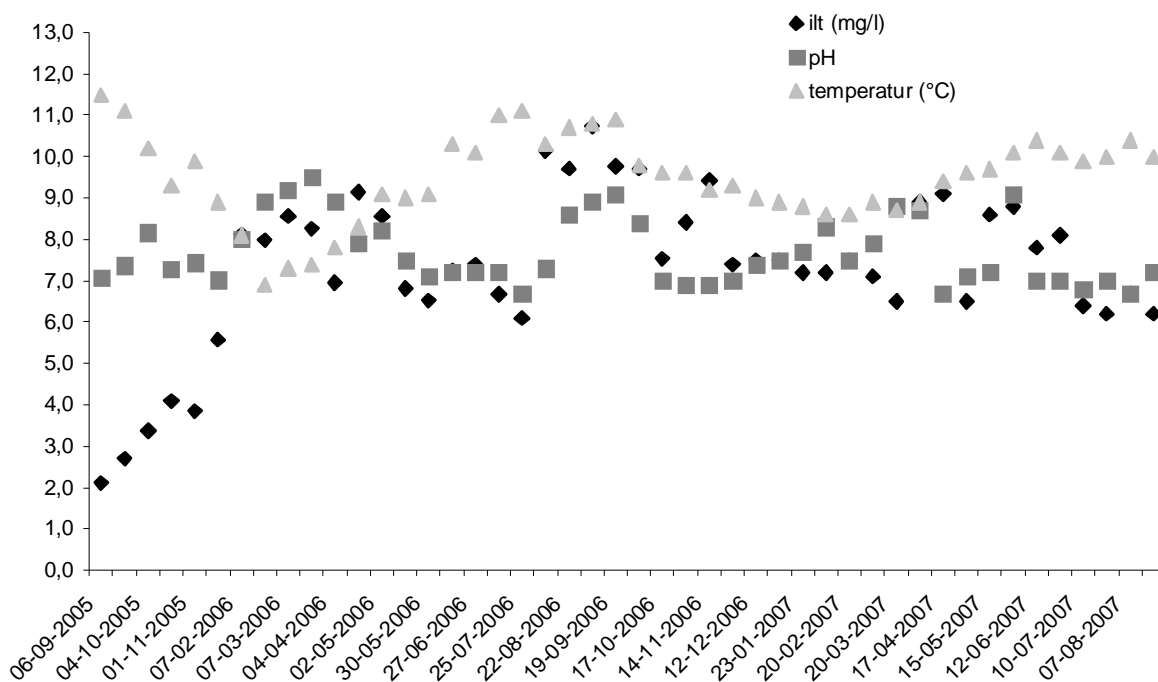
I lighed med erfaringen fra andre foderspildsundersøgelser under modeldambrugsprojektet, forventes der heller ikke på Nørå Dambrug at være foderspild af nogen betydning under normale driftsforhold. Der kan dog være situationer på dambrug generelt, hvor foderspild kan forekomme, f.eks. som følge af nedsat appetit hos fiskene. Det tidligere estimat for første måleår på gennemsnitligt 1 % foderspild på Nørå Dambrug fastholdes derfor. Dette begrundes i, at der forekommer et uundgåeligt foderspild fra fiskefoderet på grund af støv og smuld og at der som nævnt undertiden kan risikeres et mindre foderspild i forbindelse med dambrugsdrift (*Thomsen & Andersen, 2006*). Dette spild estimeres til i alt 1 %.

4 Temperatur, pH og ilt

Der er hvert tiende minut foretaget elektroniske registreringer af temperatur, pH og ilt i produktionsanlægget og i plantelagunen. Hertil kommer, at der i forbindelse med udtagning af vandprøver hver 14. dag er målt temperatur, pH og ilt med håndholdte instrumenter på dambruget. Dataene er indsamlet blandt andet med baggrund i lovmæssige krav, og for bedre at kunne forklare de processer der foregår på dambruget, som f.eks. omsætning af organisk stof.

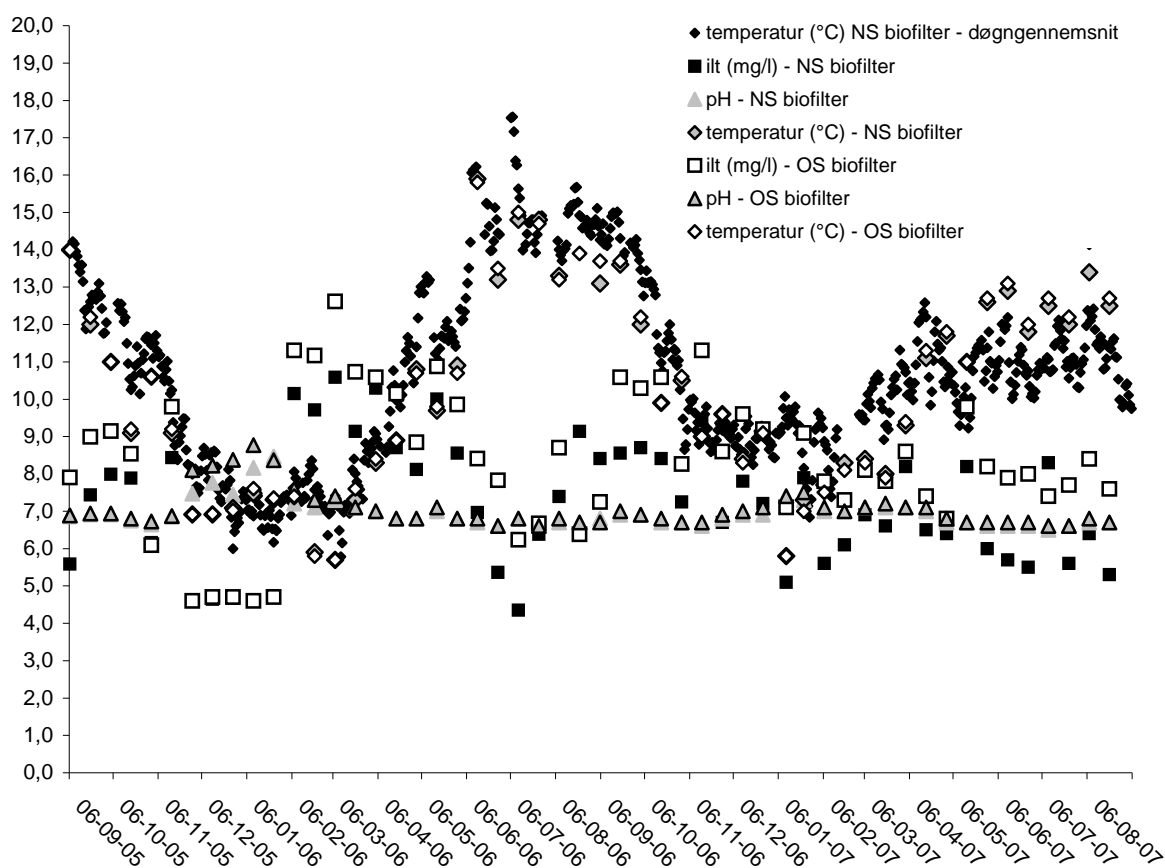
De kontinuerte registreringer har desværre ikke fungeret tilfredsstillende. Især logning af ilt, og til dels pH, har været problematisk, idet sonderne ikke er blevet rengjort tilstrækkelig ofte, og idet de tilsyneladende er relativ følsomme overfor elektronisk støj fra andre kilder. På den baggrund er der kun medtaget kontinuerte målinger for temperatur (døgngennemsnit) i dette kapitel. pH- og iltmålinger som er foretaget hver 14. dag er medtaget i stedet for de kontinuerte registreringer.

Iltindholdet i indløbsvandet er i starten af måleprogrammet lavt, men fra foråret 2006 er det stabiliseret omkring 7-9 mg ilt/l (figur 3). pH udviser betydelig fluktuation, mens temperaturen er relativ stabil, men med små ændringer, der følger årstiden. Fluktuationerne i pH skyldes antageligt, at der måles nedstrøms det kalkningsanlæg, som tilsætter kalk til boringsvandet for at hæve pH, før det ledes til produktionsanlægget, med de dertil hørende variationer.



Figur 3 Temperatur, pH og ilt målt hver 14. dag i indløbsvandet til produktionen (nedstrøms kalkningsanlæg) på Nørå Dambrug

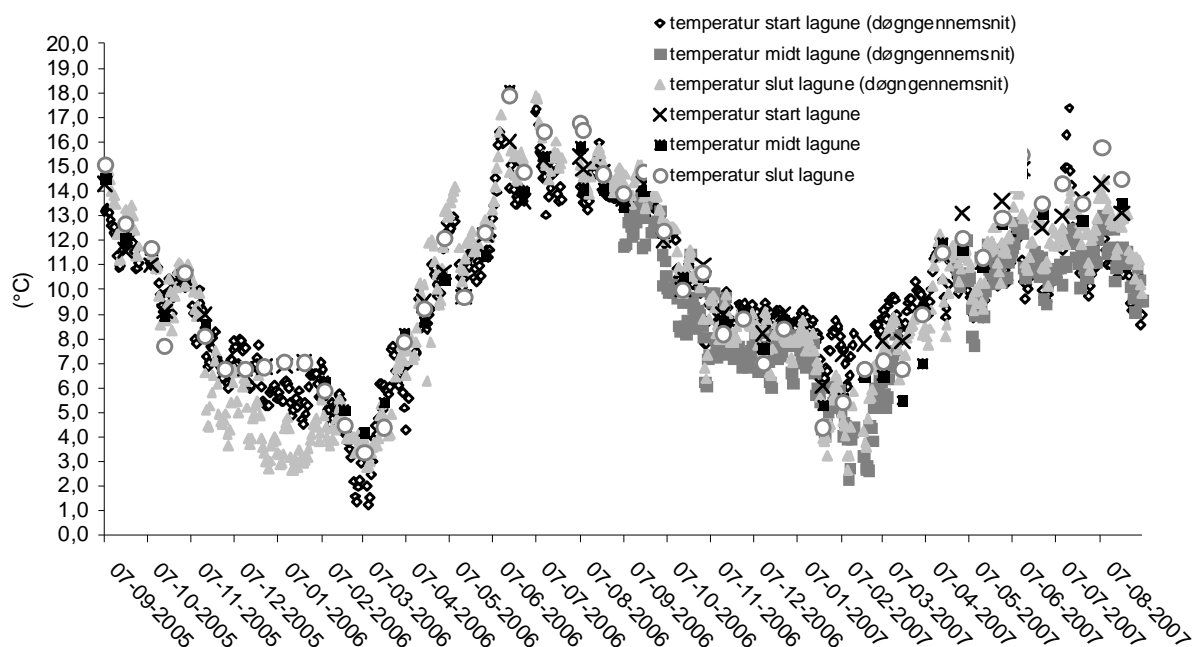
Temperaturen i produktionsanlægget er højest i første måleårs sommerperiode, men er til gengæld også lavest i første måleårs vinterperiode (figur 4). Andet måleår er derfor været kendetegnet ved en mere stabil temperatur henover året. En årsag til den lave sommertemperatur i 2007 ift. 2006 er at dambruget øger forbruget af grundvand, som er forholdsvis koldt. Iltindholdet er generelt højt i anlægget, og gennemsnitligt er iltkoncentrationen over hele måleperioden højere opstrøms biofiltret (8,4 mg/l) end nedstrøms (7,2 mg/l) trods beluftning, hvilket påviser stor stofomsætning i biofiltret. Iltindholdet falder i sidste del af måleperioden og bliver mere stabilt. pH-værdien er pga. nitrifikation og evt. CO₂-ændringer over filteret lidt højere opstrøms end nedstrøms biofiltret (hhv. 7,18 og 7,05 i gennemsnit), og lavere i andet måleår ifh. til første måleår (gennemsnitligt for begge stationer hhv. 6,92 og 6,84). Dette sidste skyldes formentlig den større udfodring i andet måleår og dermed en større CO₂-produktion og en større nitrifikation, samt et relativt mindre vandskifte.



Figur 4 Ilt, pH og temperatur opstrøms og nedstrøms biofiltret i produktionsanlægget for begge måleår på Nørå Dambrug. Kontinuerte temperaturmålinger er kun logget nedstrøms biofiltret

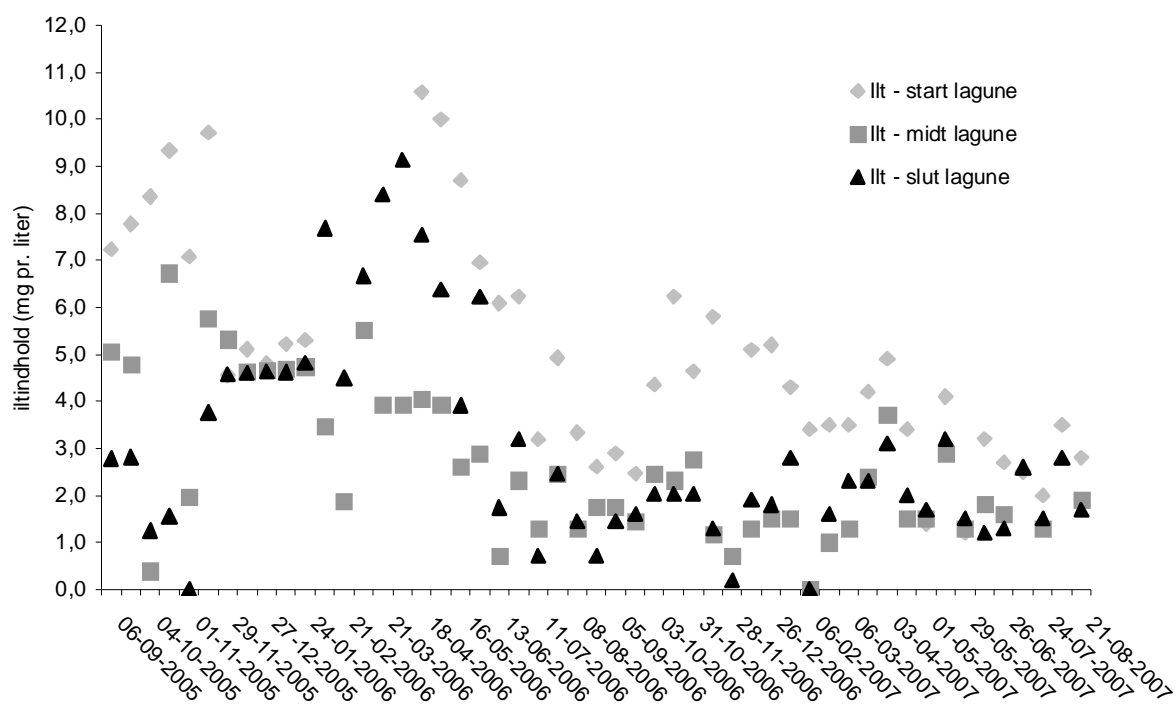
Vandtemperaturen i plantelagunen for begge måleår er målt kontinuert (loggede temperaturer, som der efterfølgende er udregnet døgngennemsnit for) i plantelagunens indløb ("start lagune"), i plantelagunens midte ("midt lagune") og i det sidste afsnit heraf inden beluftning af vandet ("slut lagune") (figur 5). Endvidere er der foretaget målinger med hånd-

holdt temperaturmåler hver 14. dag på de samme stationer og sammenholdt med de loggede (figur 5). I første måleårs vinterperiode ses en vis afkøling af vandet ned gennem plantelagunen. Ligesom i produktionsanlægget ses vandtemperaturen at være både lavere i vinterhalvåret og højere i sommerhalvåret i første måleår sammenlignet med andet måleår.

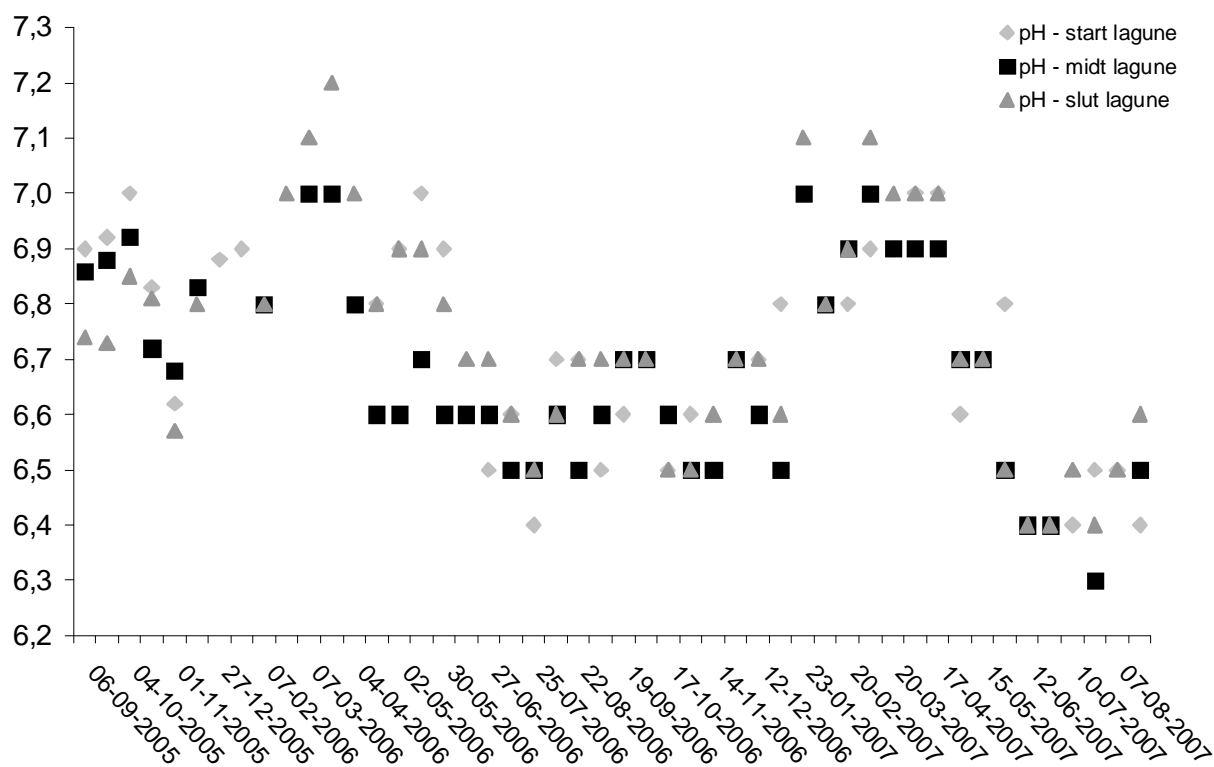


Figur 5 Vandtemperaturen i plantelagunen på Nørå Dambrug i begge måleår. Der er målt kontinuerligt (døgngennemsnit) og manuelt hver 14. dag på forskellige stationer som angivet i figuren

I lighed med den udvikling der ses i iltindholdet i produktionsanlægget, er der også i plantelagunen (figur 6) et faldende og mere stabilt iltindhold i den sidste del af måleperioden. Generelt ses et fald i iltforbruget ned gennem især 1. halvdel af plantelagunen, idet iltindholdet herover er faldende gennem måleperioden, mens der ikke er et entydigt fald mellem stationer midt- og slutlagune (se også senere figur 8). pH-værdierne i plantelagunen (figur 7) er kendetegnet ved små forskelle imellem stationerne. Der er kun marginal forskel på den gennemsnitlige pH-værdi mellem første og andet måleår (6,76 hhv. 6,67) men der ses en årstidseffekt, hvor pH er lavest om sommeren. Dette skyldes formentlig højere stofomsætning og CO₂-dannelse i sommerhalvåret.



Figur 6 Iltindhold (mg/l) målt tre forskellige steder hver 14. dag i plantelagunen gennem to måleår på Nørå Dambrug.

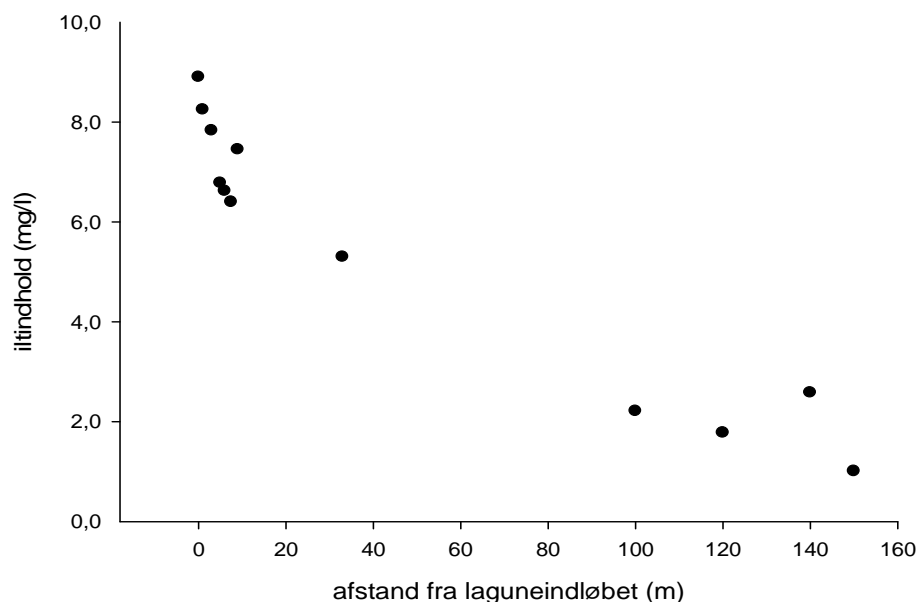


Figur 7 pH-værdi målt tre forskellige steder hver 14. dag i plantelagunen gennem to måleår på Nørå Dambrug.

Udover de periodiske iltmålinger blev der den 23. august 2007 foretaget specifikke iltmålinger i plantelagunen (figur 8), hvor vandtemperaturen var 12-17 °C i lagunen. Temperaturspændet skyldes, at noget vand i plantelagunen kun i mindre grad opblandes med det forholdsvis kolde

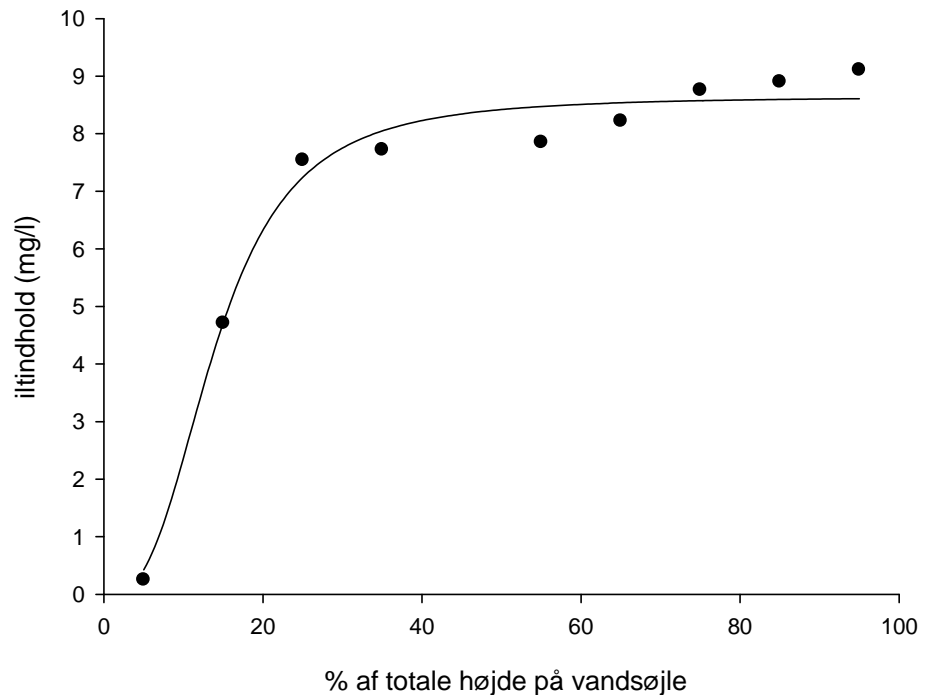
indløbsvand på 12 °C. Iltmålingerne er foretaget med henblik på at belyse, hvor hurtigt ilt opbruges i plantelagunen, og dermed hvilke begrænsninger der kan være for aerob omsætning af organisk stof, men hermed også forbedrede muligheder for nitratfjernelse. Om sommeren, når der er meget grøde i plantelagunen, noteres ved måling af ilt og temperatur, at de få gamle damme umiddelbart ved hovedstrømmens opstrøms del kun tilledes mindre vandmængder, idet iltindholdet her er lavt (0,5-2,5 mg/l) og temperaturen høj (14,3-17,2 °C).

Som det fremgår af figur 8 falder iltindholdet hurtigt ned gennem plantelagunen. En analyse af resultaterne viser, at iltindholdet i plantelagunen er halveret (4,5 mg/l) 46 m nede i plantelagunens hovedstrøm, og at iltindholdet herefter yderligere falder til omkring 2 – 1½ mg/l, en værdi som fastholdes til udløbet fra plantelagunen.



Figur 8 Vandets iltindhold (mg/l) i forskellige afstande fra plantelaguneindløbet på Nørå Dambrug ned gennem plantelagunens hovedstrøm i dambrugets gamle fødekanal den 23. august 2007

Der blev ligeledes den 23. august 2007 målt en ilt-dybdeprofil i plantelagunens indløb, hvor dybden var 100 cm. Tallene fra denne måling er vist i figur 9.



Figur 9 Dybdeprofil for iltindhold (mg/l) i plantelagunen på Nørå Dambrug. Vandtemperatur 12,4 °C. Lagunedybde 100 cm.

Iltindholdet i vandoverfladen er 8,62 mg/l. Denne værdi er først halveret (dvs. iltindholdet er 4,31 mg/l) 14 cm over bunden ved den givne vandsøjlehøjde på 100 cm. Som det også fremgår af figuren, er det således først i området ganske tæt på bunden at iltindholdet reduceres kraftigt. Dette peger på en stor bakteriel aktivitet og stofomsætning i sedimentet.

Det forhold, at der både findes aerobe og anaerobe forhold i plantelagunen er umiddelbart en fordel, eftersom det betyder, at der både findes ilt til aerob omsætning af for eksempel organisk stof, og at der samtidigt eksisterer iltfrie forhold, hvor der er mulighed for denitrifikation, dvs. dannelse af frit kvælstof (N_2) ud fra nitrat (NO_3^-) under forbrug af letomsætteligt organisk stof. Forureningsfrit opløses eller afgasses N_2 blot til atmosfæren. Eftersom hele plantelagunens bund må antages at være relativt iltfri, er der således et stort område/areal, hvor der potentielt forekommer denitrifikation.

5 Vandflow i dambruget

5.1 Måling af vandflow

Flowet bliver registreret kontinuert (hvert 10. minut) 6 steder på dambruget (tabel 5). Registreringen sker på alle målestederne ved hjælp af elektromagnetiske flowmålere (vandure), der måler nøjagtigt med en usikkerhed på mindre end 1 %. 2 af de elektromagnetiske flowmålere har haft perioder, hvor data enten er gået tabt eller har været fejlbehæftede. Problemerne har skyldtes enten underdimensionering eller tilstopning samt fugtproblemer i elektronikken på grund af oversvømmelser. Det er specielt på flowmængden af klaret slamvand, der har været instrumentproblemer i en periode på ca. 8 måneder første måleår. I de pågældende perioder er dataserierne korrigeret ved hjælp af interpolation og korrelation til de øvrige målere. Problemerne med flowmålerne har medført en mindre forøgelse af usikkerheden, og det vurderes, at usikkerheden på middel-flowdata er mellem 0 og 5 %, dog 10 % på klaret slamvand år 1.

I tabel 5 findes det gennemsnitlige flow angivet for henholdsvis første og andet måleår. Det samlede vandindtag har i gennemsnit det første måleår været 37,1 l/s mod 42,5 l/s år 2. Vandindtaget har således i begge måleår været lavere end de tilladte 45,9 l/s. Vandindtaget til produktionsenhed, sættefiskeanlæg og leveredamme sker fra 2 boringer placeret mellem anlæggene og vandløbet.

Udløbet fra produktionsanlægget er i begge måleår lidt mindre end indløbet hertil (svarende til vandindtaget). Det skyldes, at der bliver ført vand væk fra produktionsanlægget i forbindelse med skylning af biofiltre, tømning af slamkegler, spuling af mikrosigter, og at der bliver brugt vand ved udfiskning og sortering. Samlet går vandbalancen for produktionsanlægget i praksis op (tabel 5) og herfra sker der således ikke noget tab af vand.

Målested	Målested	Gennemsnitsflow l/sek.	
		1. måleår	2. måleår
1	Samlet vandindtag fra boringer	37,1	42,5
2	Udløb produktionsanlæg inkl. sættefisk+leveredamme	34,3	38,3
3	Til slambassiner fra produktionsanlæg, sættefisk, leveredamme fra skyl biofilter og tømning slamkegler	1,7	3,0
4	Spulevand fra mikrosigter	0,6	1,1
5	Udløb klaret slamvand	2,4	4,0
2+5	Samlet tilløb til plantelagune	36,7	42,3
8	Udløb plantelagune/dambrug	24,5	32,6

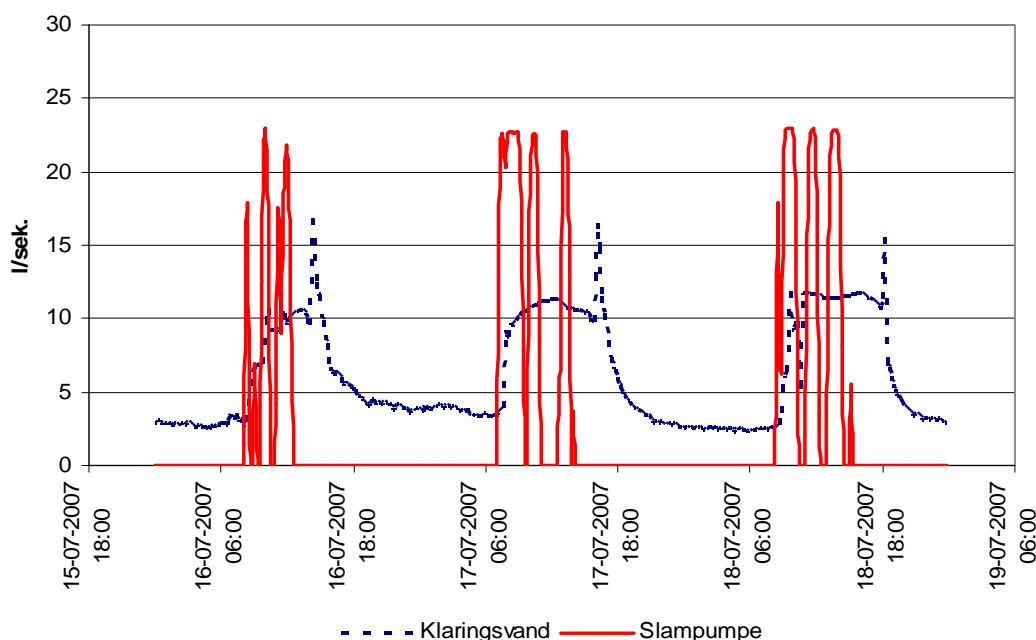
Tabel 5 Vandflow (l/s) som gennemsnit ved de enkelte målesteder for 1. og 2. måleår ved Nørå Dambrug

5.2 Returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler

For at fjerne partikler bliver slamfælderne (slamkeglerne) i bunden af anlæggene tømt regelmæssigt, og tilsvarende bliver biofiltret returskyllet ved at sende vandstrøm modsat den normale strømretning. Alt slam bliver pumpet til slambassinerne. Slamkeglerne bliver normalt tømt 1 gang om ugen. Proceduren for returskylning af biofiltre er, at 2 af sektionerne skylles hver hverdag i ca. 1 - 2 timer pr. sektion, således hele filtret skylles en gang pr. uge. Afvigelser fra de faste procedurer kan ske i forbindelse med f.eks. flytning af fisk, sygdomsbehandling mv. Mikrosigterne bliver spulet kontinuerligt.

Under tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre pumpes ca. 18 l/s til slambassinerne frem til starten af februar 2007. På dette tidspunkt blev pumpeydelsen forbedret, og herefter er det ca. 23 l/s. Den samlede vandmængde, der bliver anvendt til tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre inklusiv spulevand fra mikrosigterne er som middel opgjort til 2,3 l/s i første måleår og 4,1 l/s i andet måleår. Det svarer til ca. 6 henholdsvis 10 % af den vandmængde, der bliver taget ind til dambruget.

Klaringsvandet, der afledes fra slambassinerne til plantelagunen begynder at løbe kort tid efter returskylning og slampumpning (tømning af slamkegler) påbegyndes (se figur 10), idet slambassinerne ikke er indrettet til at kunne rumme slam- og returskyllevand uden et samtidigt afløb derfra. Afledningsmængden er forholdsvis stor under og umiddelbart efter pumpning, men den er dog fordelt over hele døgnet, hvilket betinger at de høje afledningsmængder varer i kortere tid.



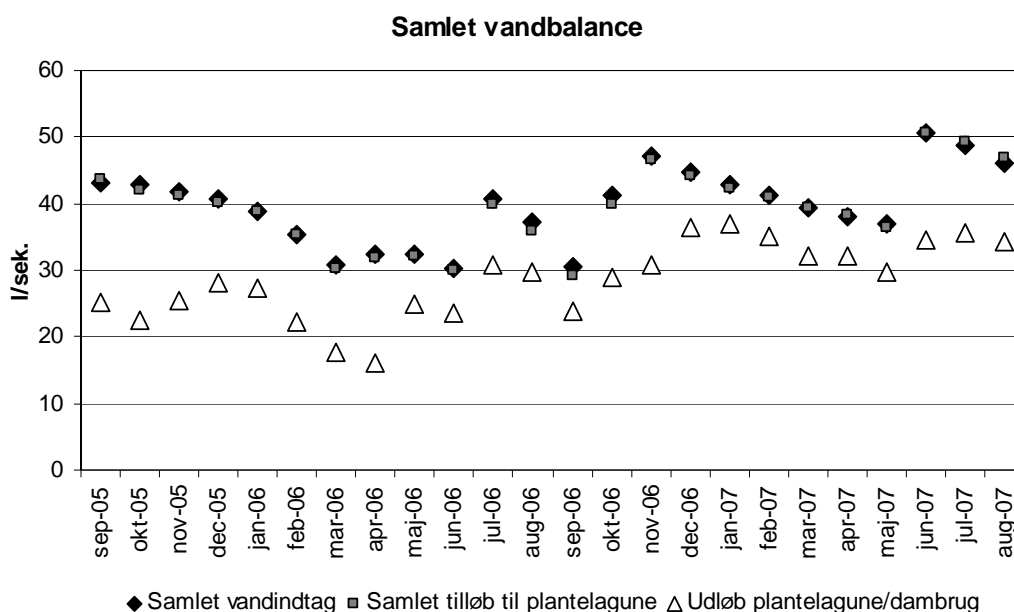
Figur 10 Eksempler på returskylning af biofiltre/tømning af slamkegler og afløb af klaringsvand fra slambassinerne (i l/s) på Nørå Dambrug over 3 døgn juli 2007

5.3 Vandbalance

Vandindtaget på i gennemsnit 37,1 l/s år 1 og 42,5 l/s år 2, svarer overens med det samlede tilløb til plantelagunen begge måleår. Der er således ikke noget målbart tab over selve produktionsanlægget.

Nedbør og fordampning over produktionsanlægget har kun en meget ringe betydning for vandbalancen, da det på årsbasis kun netto kan tilføre, hvad der som middel svarer til maksimalt 0,1 l/s.

Udløbet fra plantelagunen, svarende til dambrugets samlede afledning til vandløbet, er som middel 24,5 l/s år 1 og 32,6 l/s år 2. Det samlede tilløb til plantelagunen er som middel 36,7 år 1 og 42,3 l/s år 2 (tabel 5). Der kan således konstateres et gennemsnitligt vandtab over plantelagunen på 12,2 l/s år 1 svarende til 33 % og på 9,7 l/s år 2 svarende til 23 %. Det samlede vandindtag til dambruget samt indløb til og afløb fra plantelagunen fremgår af figur 11. Mod slutningen af måleperioden er der en tendens til at vandtabet aftager.



Figur 11 Samlet vandbalance over Nørå Dambrug de to måleår angivet som månedsmiddel (l/s)

Der kan findes 3 mulige forklaringer på tabet af vand fra plantelagunerne:

1. Der sker en nedsivning fra bunden af plantelagunen til umættet zone under disse og til grundvandet
2. Der sker en nedsivning til boringer til dambrugets indvinding
3. Der er utætheder i afgrænsningen mellem plantelagunen og vandløbet

Ad 1): Hvis grundvandstanden er lavere end vandstanden i plantelagunen kan der være en nedsivning fra denne. Afhængig af grundvandets strømningsretning, vil en andel af det tabte vand kunne strømme til vandløbet eller evt. i løbet af mange år via grundvandet til havet.

Ad 2): Nedsivning vil ske, hvis grundvandstanden er lavere som under pkt. 1, men da indvindingen af vand til dambruget sker fra borer i umiddelbar nærhed af plantelagunen, kan det strømme hertil og dermed blive genanvendt i produktionen.

Ad 3): Utætheder og udsivning vil f.eks. kunne opstå, hvis der er en snæver afgrænsning med smalle dæmninger mellem plantelagune og vandløb.

På Nørå Dambrug kan tabet skyldes en kombination af alle 3 processer. Det virker sandsynligt, at der sker en vis nedsivning til grundvand, da ådalens materiale er grus/sand. Det forekommer også sandsynligt, at en del af det nedsivende vand kan strømme til vandindtaget i borerne. Hvor meget nedsivning, hvor stor en andel, der strømmer til borerne og hvor meget der siver ud til vandløbet, kan ikke vurderes på det foreliggende datagrundlag. I kapitel 9 og 12 omtales betydningen af dette vandtab if. beregnede rensegrader over plantelagunen.

En mindre del af tabet kan skyldes direkte utætheder mellem plantelagunen og vandløbet. På en del af strækningen mellem plantelagune og vandløb er der en spinkel dæmning, og der er sket gennemsvivning igennem den i en kortere periode. Et gammelt bygværk med afløb til vandløbet lidt nedstrøms det egentlige afløb fra dambruget er lidt utæt. Det vurderes dog, at tabet fra utæthederne er relativt begrænset i forhold til tabet på grund af nedsivning.

I perioden december 2006 – januar 2007 falder der ekstremt meget nedbør, og der er registreret 2 - 3 gange mere end normalt for regionen. Endvidere er sommeren 2007 meget nedbørsrig. Der falder ca. 50 % mere nedbør andet måleår sammenlignet med det første. Dette kan givet påvirke vandbalanceforholdene og grundvandstanden i ådalen, og dermed også tabet fra plantelagunen. Det forekommer endvidere sandsynligt, at der med tiden sker en mindskelse af infiltrationskapaciteten i bunden af plantelagunerne grundet ophobning af fine partikler i den øverste del af sedimentet i plantelagunens bund, som over tid vil mindste netto vandtabet over plantelagunerne og som er en af forklaringerne på det reducerede vandtab i slutningen af 2. måleår.

Som for produktionsanlægget har nedbør og fordampning over selve plantelagunen kun en ubetydelig indflydelse på middelvandbalancen, som på et år maksimalt kan udgøre ca. 0,2 l/s. Kun på enkelte dage kan det medføre at vandbalancen viser mere afstrømning af vand end normalt, hvilket kan ske i forbindelse med kraftigt regnskyl. Eksempelvis vil 50 mm nedbør på et døgn over plantelagunen svare til at der skal løbe knap 4 l/s mere ud af plantelagune i det døgn.

5.4 Recirkulationsflow

Recirkulationen bliver drevet af luftpumperne i anlægget så variationer i flowmængden vil typisk være en funktion af behovet for beluftning. Der vil derfor normalt være sammenhæng mellem flowet og mængden af fisk i anlægget og med temperaturniveauet. Recirkulationsflowet i produktionsanlægget er kun registreret i begyndelsen af 1. måleår indtil marts 2006, da monitoringen overgik til ekstensivt program (instrumenter flyttet til Ejstrupholm Dambrug). Indtil da blev recirkulationsflowet målt til mellem 400 og 700 l/sek.

Med et gennemsnitligt samlet vandindtag på 37,1 l/s (Q_i) til produktionsanlægget og en samlet recirkulering på 400-700 l/s (Q_r) kan recirkulationsgraden i halvdelen af år 1 opgøres til mellem 91 og 95 %, beregnet som $(Q_r - Q_i)/Q_r$. For modeldambrug type III forudsættes en minimum recirkulationsgrad på 95 %.

5.5 Vandforbrug/fodermængde

Ved at sammenholde det samlede vandindtag med det samlede foderforbrug kan det opgøres, at der på Nørå Dambrug er brugt ca. 3.950 liter vand pr. kg foder i første måleår og 3.550 liter/kg i andet år, svarende til 3.420 henholdsvis 3.270 liter vand pr. kg produceret fisk. Dette er ca. en faktor 15 lavere end i et traditionelt gennemstrømningsdambrug.

5.6 Hydraulisk belastning af plantelagunen

Baseret på det beregnede areal af plantelagunerne (se kapitel 11) er den gennemsnitlige hydrauliske belastning af plantelagunen henholdsvis 0,005 og 0,006 l/s pr. m² plantelagune i første og andet måleår. Det er ca. 1/4 af den forudsatte maksimale belastning på 1 l/s pr. 48 m² (0,021 l s⁻¹ m⁻²) plantelagune jf. modeldambrugsbekendtgørelsen (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*).

6 Stofkoncentrationer forskellige steder på dambruget

Dette kapitel omhandler både målte stofkoncentrationer og beregnede gennemsnit for de to måleår i forskellige målepunkter på Nørå Dambrug. De forskellige figurer omfatter både første og andet års måleresultater for at få en præsentation af den samlede måleperiode i samme graf.

Gennemsnitskoncentrationer

Tabel 6 giver de beregnede gennemsnitskoncentrationer af de udtagne og analyserede vandprøver i det andet måleår ved forskellige målestationer på Nørå Dambrug. Endvidere er angivet spredningen på koncentrationerne over andet måleår. Det giver et billede af, hvordan der tilføres stof ved fiskeproduktionen i produktionsanlægget og hvordan der fjernes stof via renseforanstaltninger som slamkegler, biofiltre, mikrosigte, slambassiner og plantelagune.

Det bemærkes, at gennemsnitskoncentrationerne år 2 fra især tømning af slamkegler er meget høje og de højeste sammenlignet med andre målepunkter for alle kemiske variable på nær for nitrit+nitrat kvælstof, men koncentrationerne i skyllevandet fra biofiltrene er også høje for de fleste kemiske variable. For suspenderet stof, total fosfor og organisk stof er gennemsnitskoncentrationen i slamvand fra slamkegler en faktor 10 højere end i skyllevandet fra biofiltrene, som for de samme stoffer igen ligger en faktor 20 (organisk stof) til godt 70 (suspenderet stof og total fosfor) over gennemsnitskoncentrationen i afløbet fra produktionsanlægget. Nitrit-nitrat koncentrationen er højest i afløbet fra produktionsanlægget. For ammonium og total kvælstof er gennemsnitskoncentrationen i slamvand fra slamkeglerne en faktor 6 større end i skyllevandet fra mikrosigterne, som igen er en faktor henholdsvis 1,6 og 2,2 større end i afløbet fra produktionsanlægget. I spulevand fra mikrosigten er gennemsnitskoncentration lidt lavere end i skyllevandet fra biofiltre, 5-15 % for de opløste fraktioner (ammonium og nitrat-nitrit kvælstof samt opløst fosfor) og noget lavet for de øvrige kemiske variable.

Gennemsnitskoncentrationen af ammonium, total kvælstof, total fosfor, organisk stof og suspenderet er også relativt høje i afløbsvandet fra slambassinerne (klaringsvand), lidt lavere for de partikulære fraktioner og lidt højere for de opløste fraktioner (på nær ammonium) end de tilsvarende gennemsnitskoncentrationer i spulevand fra mikrosigten i produktionsenheden. På nær for nitrit-nitrat kvælstof og opløst fosfor er gennemsnitskoncentrationerne i klaringsvandet højere end de tilsvarende koncentrationer i afløbet fra produktionsanlægget, mellem en faktor 5-15 højere; for total kvælstof dog kun en faktor 2 højere.

Gennemsnitskoncentrationen i udløbet fra Nørå Dambrug er for de fleste kemiske variable højere andet måleår end i første: suspenderet stof 45 %, ammonium kvælstof 175 %, total kvælstof 24 %, total fosfor 25 %, BI₅ 16 % samt COD 9 % (tabel 10). Der er også anvendt 27 % mere foder. Kun gennemsnitskoncentrationerne af nitrit-nitrat og opløst fosfor er lavere år 2 med henholdsvis 8 % og 50 %.

Målested	Susp. stof		NH ₄ -N		NO ₂₃ -N		Total -N		Ortho-P		Total -P		BI-5		COD	
	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std	Gen	Std
Vandindtag	7,1	5,1	0,1	0,0	3,4	0,4	3,7	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,9	0,3	8,3	3,0
Spulevand mikrosigte	95,7	79,6	3,4	7,3	5,8	3,9	15,6	8,3	0,13	0,12	3,4	3,2	59,3	84,9	167	162
Vandafløb produkt. anlæg	5,2	3,8	2,2	2,6	9,0	3,0	12,5	2,6	0,06	0,07	0,16	0,08	5,1	3,0	23,2	9,6
Returskylning af biofiltre	395	221	3,6	3,9	6,2	3,8	28,2	10,9	0,15	0,09	11,4	7,0	124	79,5	418	215
Tømning slamkegler	2.841	2.010	18,1	11,2	2,6	2,8	170	127	11,9	9,1	130	105	1.815	1.312	4.378	3.263
Klaringsvand slambassiner	79,8	50,6	13,4	7,4	5,5	2,9	23,5	7,8	0,07	0,05	2,1	1,3	27,1	22,2	108	65,0
Udløb dambrug år 2	4,5	2,2	3,3	2,8	6,2	2,1	10,9	4,9	0,02	0,01	0,15	0,06	2,9	1,2	20,1	6,1
Udløb dambrug år 1	3,1	2,0	1,2	1,3	6,8	1,5	8,8	1,4	0,04	0,03	0,12	0,06	2,5	0,84	18,4	7,6

Tabel 6 Gennemsnitskoncentrationen (Gen) og standardafvigelsen for kemiske variable for de forskellige målesteder på Nørå Dambrug i andet måleår. Til sammenligning er angivet tilsvarende værdier for udløbet i første måleår.

Spredningen på koncentrationerne for andet måleår (tabel 6) er størst ved de høje koncentrationer såsom skyllevand fra biofiltre, spulevand fra mikrosigten, slam fra tømning af slamkegler og afløb fra slambassin (klaringsvand). Spredning på koncentrationerne for indtagsvandet er generelt lave på nær for COD og suspenderet stof.

Gennemsnittet af den procentuelle spredning (målt som gennemsnittet af standardafvigelsen i procent af gennemsnitskoncentrationerne for de enkelte målestationer) (tabel 7) viser, at den største relative spredning findes for ammonium kvælstof og BI₅ og den laveste for total kvælstof. Den relative spredning på gennemsnitskoncentrationerne er for 3 af de 8 parametre større i det andet måleår (tabel 7).

DMU nr.	Susp	NH ₄ -N	NO ₂₃ -N	Total N	Ortho P	Total P	BI ₅	COD
Std % 1. år	77	83	44	48	77	86	70	68
Std % 2. år	67	95	52	40	74	58	71	56

Tabel 7 Gennemsnittet af de relative standardafvigelser for de kemiske koncentrationer for hhv. år 1 og år 2 for Nørå Dambrug. Standardafvigelse for hvert målested (7 i alt) for de enkelte parametre er beregnet og derefter er den relative standardafvigelse beregnet som standardafvigelsen divideret med gennemsnitskoncentrationen for målestedet. Derefter er gennemsnittet af den relative standardafvigelse for målestederne beregnet for hver parameter.

Koncentrationsforløb for afløb fra produktionsanlæg og klaringsvand

I de efterfølgende figurer vises en række koncentrationsforløb ved de målepunkter, hvor der udledes betydende stofmængder til plantelagunen, som udløb fra produktionsenheden og klaringsvand fra slambassiner over begge måleår. Koncentrationsniveauerne kan også anvendes som indikation for hvordan drift og produktion er forløbet over tid.

Koncentrationen for kvælstoffraktionerne i udløbsvandet fra produktionsanlægget (nedstrøms biofiltret) er ca. 7-17 mg/l total kvælstof i begge måleår med tendens til de højeste koncentrationer i sommeren 2006 og foråret 2007 (figur 12), hvor udfodringen også er størst (kapitel 3, figur 2). I første måleår er langt hovedparten af kvælstof på nitrit/nitrat-form, mens ammonium udgør en større andel i andet måleår især i perioden fra januar til april 2007, hvor koncentrationen når op over 5 mg/l og i en kortere periode er koncentrationen meget høj 12 mg/l. I maj 2007 falder ammonium kvælstof koncentrationen igen til niveauet på 0,5-1,5 mg/l, som det har været på det meste af måleperioden, mens nitrit-nitrat kvælstof stiger voldsomt i starten af maj, hvor meget høje nitrit koncentrationer

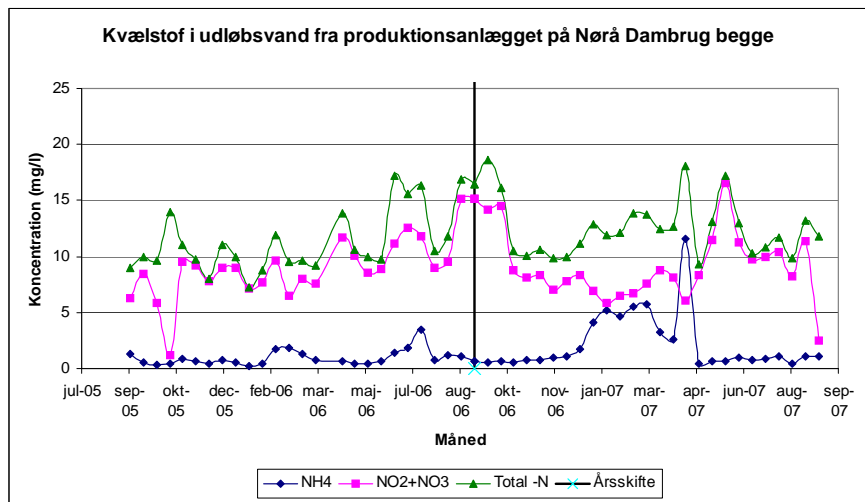
ner medførte, at der døde 12 tons fisk (se kapitel 3) og stop for udfodring i en periode.

Koncentrationsudviklingen for total fosfor i udløbsvandet fra produktionsanlægget er relativ ens i de to måleår, hvor opløst fosfor koncentrationen udgør 38 % af total fosfor koncentrationen (figur 13). Forskellen mellem total fosfor og opløst fosfor er den partikelbundne fosfor. Fra starten af år 2 frem til april 2007 er opløst fosfor koncentrationen ganske lav sammenlignet med resten af måleperioden. Fosfor koncentrationen er højest om sommeren 2006 og foråret 2007 på godt 0,4 mg/l. Koncentrationsudviklingen er ret ens i begge måleår.

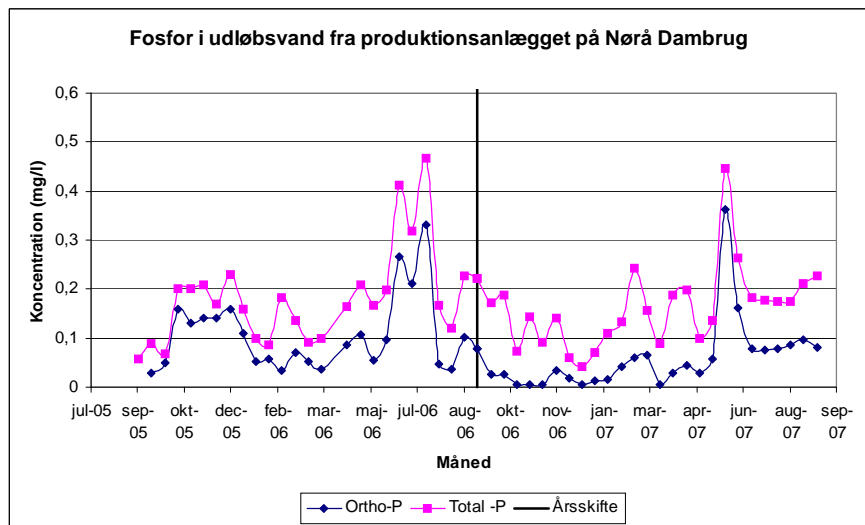
Den organiske stofkoncentration målt som BI_5 i udløbsvandet fra produktionsanlægget er på samme niveau (2-4 mg/l) i begge måleår (figur 15) med få koncentrationstoppe på op til godt 10 mg/l og følger overordnet set koncentrationen af suspenderet stof. COD koncentrationen er væsentlig større end BI_5 og suspenderet stof, typisk niveau er 10 til 35 mg/l med toppe op til næsten 50 mg/l. COD koncentrationen stiger fra september til maj i begge måleår men med store koncentrationsvariationer i perioden maj til november 2006.

Koncentrationerne i klaringsvandet fra slambassinerne er vist i figur 15-17. Klaringsvandet er en ikke uvæsentlig stofkilde til plantelagunerne. Koncentrationen i klaringsvandet er dels resultatet af de stofmængder der er opsamlet i renseforanstaltningerne og den mængde vand, der anvendes til returskylning af biofiltre, spuling af mikrosigter og tømning af slamkegler, dels af de processer der foregår i slambassinerne med udfældning af partikulært materiale og omsætning/binding af nogle af de kemiske komponenter. Vandforbruget i forbindelse med renseforanstaltningernes drift varierer kun svagt gennem året og kan ikke forklare de store koncentrationsændringer, der måles for de enkelte parametre gennem måleperioden. Koncentrationsændringerne i klaringsvandet afspejler derfor bl.a. ændringer i produktionsforholdene. For alle de målte parametre er der i første måleår i februar og marts 2006 ekstremt høje koncentrationer, mellem end faktor 20 til 50 højere sammenlignet med resten af måleperioden, for suspenderet stof, total kvælstof, total fosfor og organisk stof i det øvrige første måleår. Koncentrationerne når niveauer der ellers kun måles ved tømning af slamkeglerne. For andet måleår ses en mindre stigning i marts og april. Medio april 2006 er slambassinernes kapacitet øget væsentligt, da der blev tilføjet et ekstra bassin, hvorefter der måles bratte koncentrationsfald i klaringsvandet. Tilsyneladende har kapaciteten i de to oprindelige bassiner være næsten opbrugt.

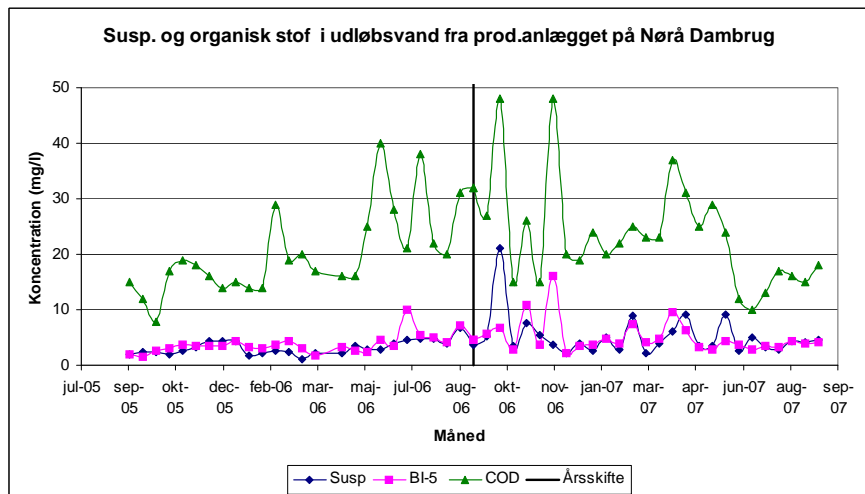
Koncentrationen af total kvælstof og ammonium kvælstof forløber næsten parallelt gennem måleperioden, mens nitratkvælstof koncentrationen er meget lav og lavere end ammonium kvælstof i hele måleperioden antageligt grundet effektiv denitrifikation og dissimilatorisk nitrat reduktion med ammonium kvælstof dannelse i slambassinerne (figur 15).



Figur 12

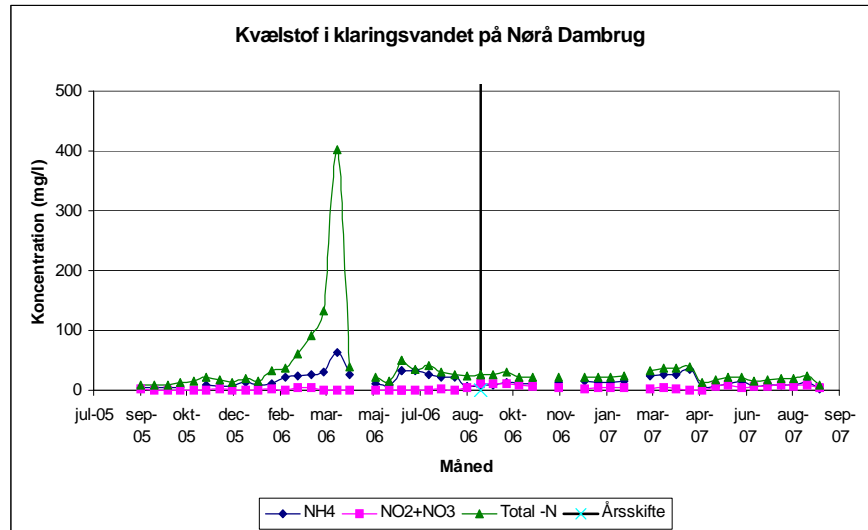


Figur 13

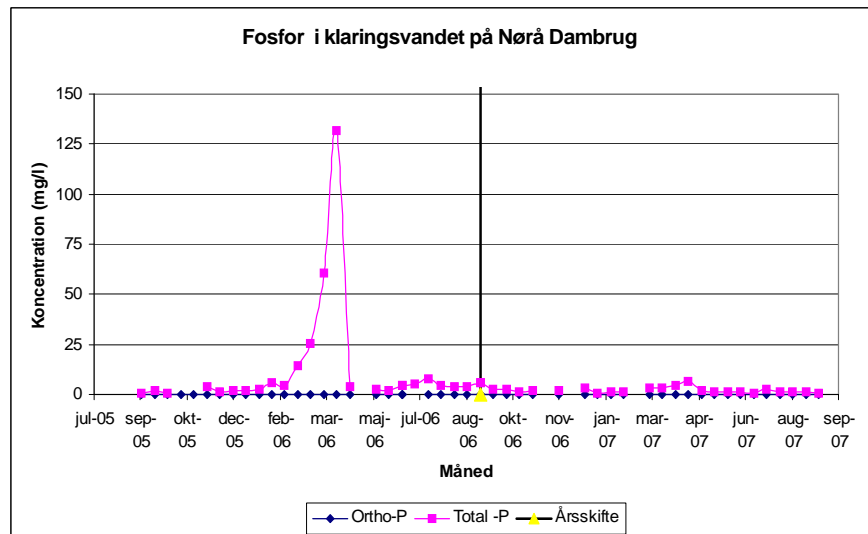


Figur 14

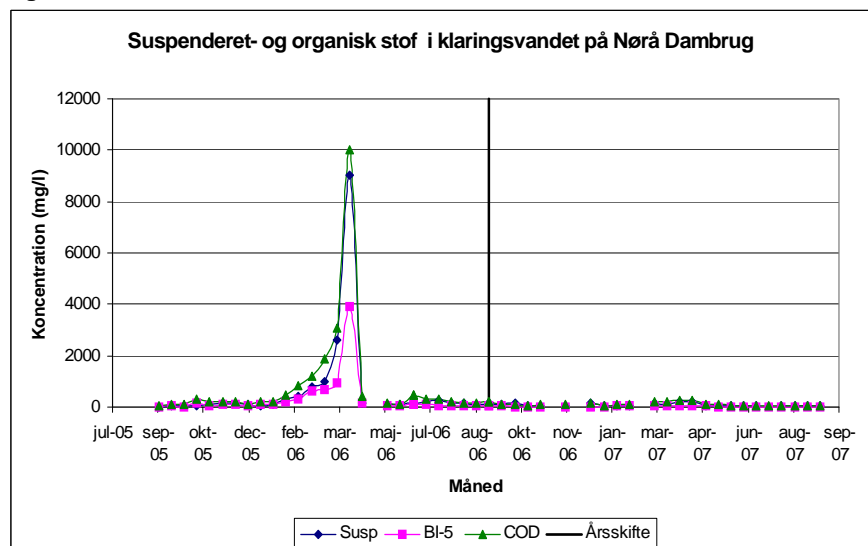
Koncentrationsudvikling over de to måleår for ammonium, NO₂₋₃ og total kvælstof (figur 12), orthofosfat og total fosfor (figur 13) samt BI₅, COD og suspenderet stof (figur 14) nedstrøms biofiltre (=aflob produktionsanlæg) på Nørå Dambrug svarende til koncentrationerne i det vand, der løber ind i plantelagunen fra produktionsenhederne. Frem til 4-4 2006 var målepunktet nedstrøms biofilteret i produktionsenheden, derefter blev det flyttet til nedstrøms det samlede udløb fra produktionsenheden og sættefiskeanlægget.



Figur 15



Figur 16



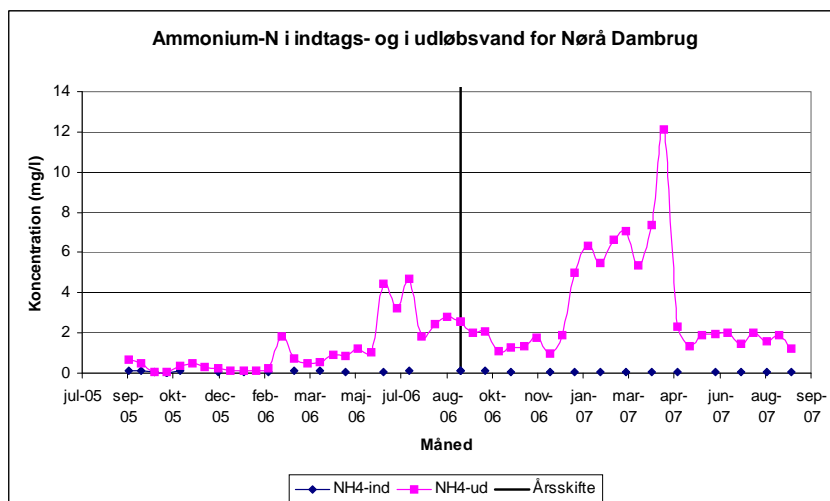
Figur 17

Koncentrationsudvikling i klaringsvandet fra slambassinerne på Nørå Dambrug over de to måleår for ammonium, NO_{2-3} og total kvælstof (figur 15), orthofosfat og total fosfor (figur 16) samt BI_5 , COD og suspenderet stof (figur 17).

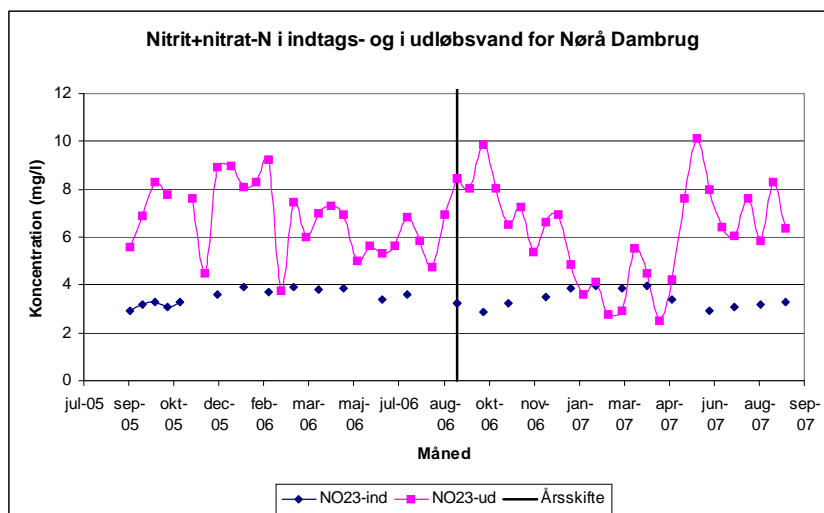
Såvel fosforfraktionerne som BI_5 og COD og suspenderet stof har overordnet set samme koncentrationsudvikling som kvælstoffraktionerne i måleperioden (figur 16 og 17).

Koncentrationsforløb i indtags- og udløbsvand

Koncentrationsforløbet for de målte kemiske variable i henholdsvis indtagsvandet til Nørå Dambrug og i udløbet fra plantelagunen (dvs. udløb fra dambruget) for begge måleår er vist i figurerne 18 til 25. Forskellen i de vægtede koncentrationer i det vand, der ledes til plantelagunen og udløbsvand fra denne, afspejler plantelagunes kapacitet til at omsætte/tilbageholde stofferne.

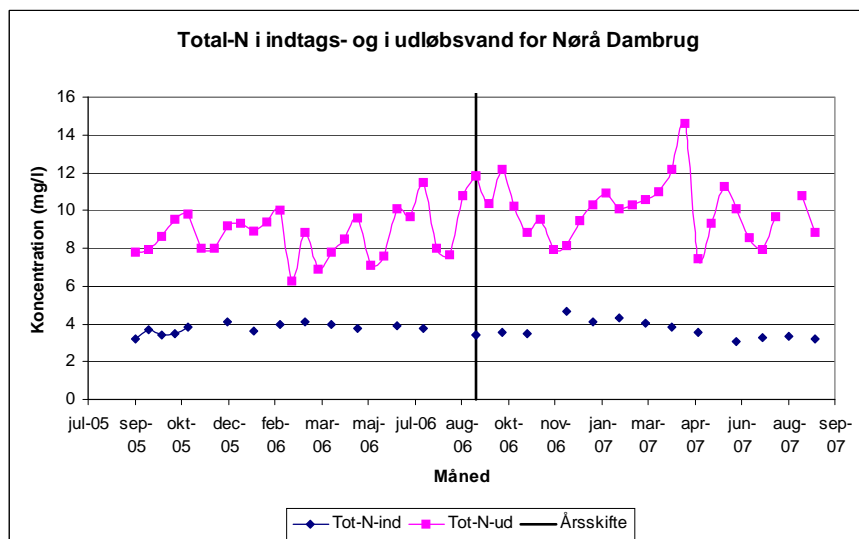


Figur 18 Ammonium kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Nørå Dambruget og i udløbet herfra til Grindsted Å i første og andet måleår.

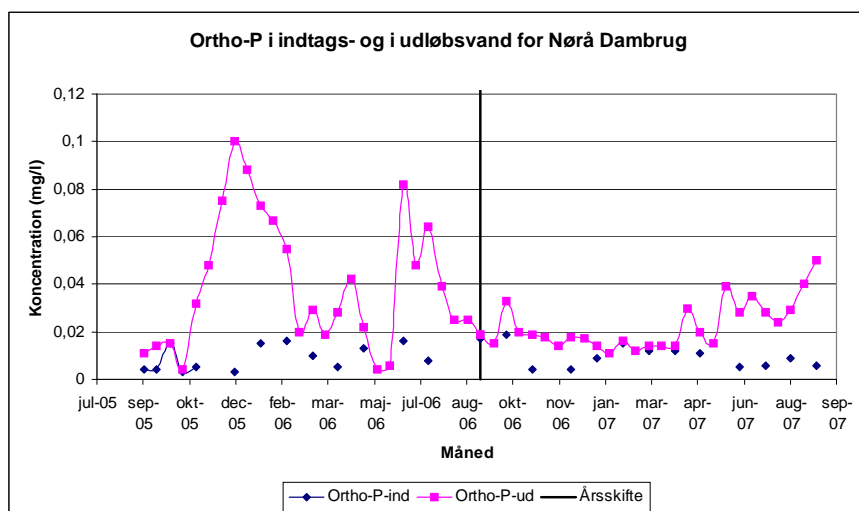


Figur 19 Nitrat+nitrit kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Nørå Dambrug og i udløbet fra dambruget til Grindsted Å i første og andet måleår.

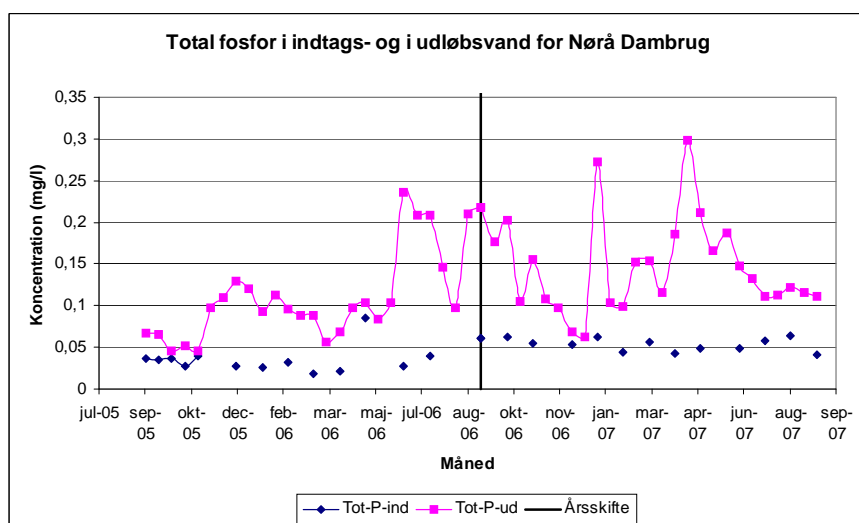
Udviklingen i stoffkoncentrationerne i indtagsvandet, der kommer fra 2 boringer mellem plantelagunen og produktionsanlægget er overordnet ens de to måleår (figur 18-25) på nær for total fosfor der næsten er dobbelt så høj i andet måleår med koncentrationer på over 0,05 mg/l (figur 22). For de fleste kemiske komponenter er der en vis variation i koncentrationen inden for et måleår, mest for COD og suspenderet stof.



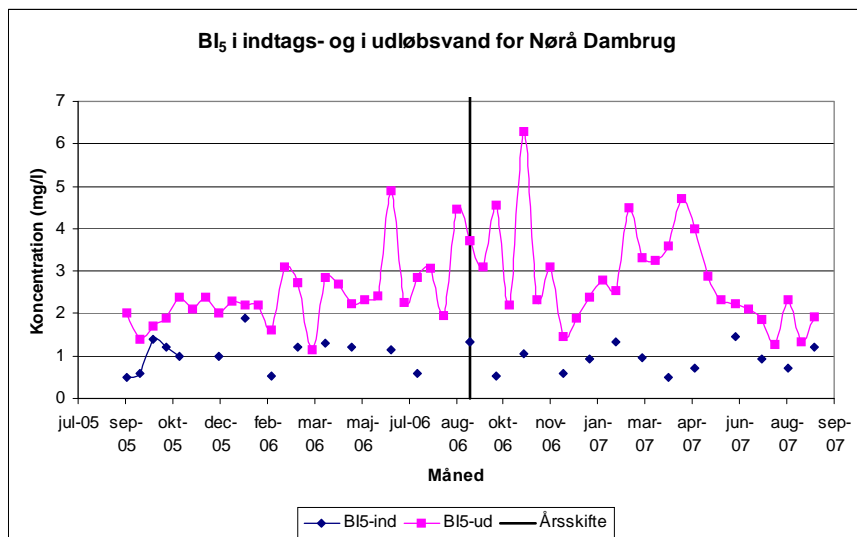
Figur 20 Total kvælstof koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Nørå Dambrug og i udløbet fra dambruget til Grindsted Å i første og andet måleår.



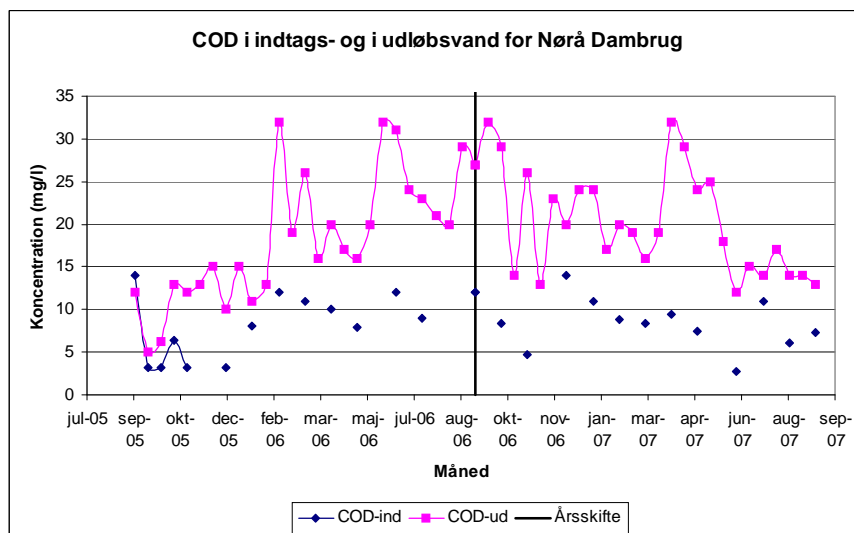
Figur 21 Orthofosfat fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Nørå Dambrug og i udløbet fra dambruget til Grindsted Å i første og andet måleår.



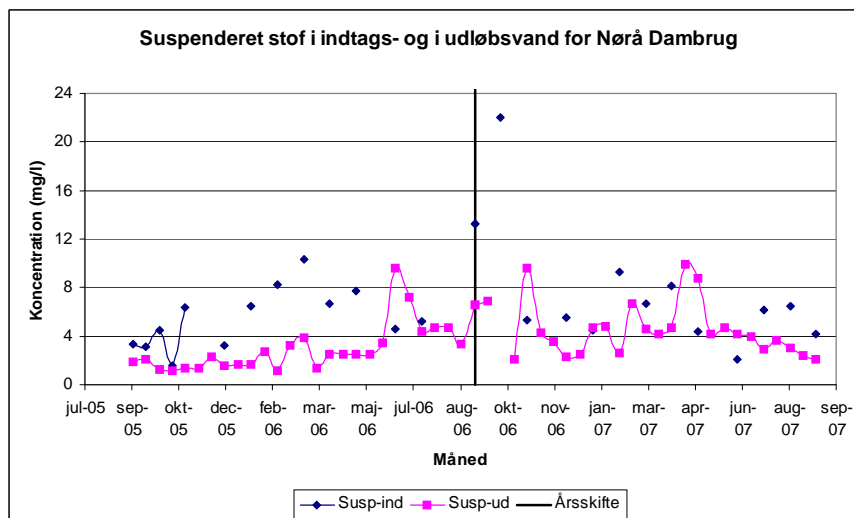
Figur 22 Total fosfor koncentrationen (mg/l) i indtagstvandet til Nørå Dambrug og i udløbet herfra til Grindsted Å i første og andet måleår.



Figur 23 BI₅ koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Nørå Dambrug og i afløbet fra dambruget til Grindsted Å i første og andet måleår.



Figur 24 COD koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Nørå Dambrug og i afløbet fra dambruget til Grindsted Å i første og andet måleår.



Figur 25 Suspenderet stof koncentrationen (mg/l) i indtagsvandet til Nørå Dambrug og i afløbet til Grindsted Å i første og andet måleår.

I udløbet fra plantelagunen følger koncentrationerne overordnet de variationer som blev beskrevet for tilførslerne via afløbet fra produktionsanlægget og klaringsvandet. Koncentrationerne varierer hermed betydeligt gennem året, dog slår de ekstremt høje koncentrationer i klaringsvandet i marts-april 2006 ikke markant igennem på koncentrationerne i afløbet fra dambruget. Total kvælstof koncentrationerne i udløbsvandet er generelt lidt højere i andet måleår (figur 20). Koncentrationen for de enkelte kvælstoffraktioner varierer betydeligt over året, således er der i perioden januar til april 2007 ammonium kvælstofkoncentrationer på 5 til 12 mg/l imod typisk 1-2 mg/l i den øvrige del af måleperioden (figur 19). I samme periode er nitrit+nitrat kvælstof koncentrationerne i øvrigt tilsvarende lave (figur 20), hvilket understreger en beskeden omsætning af ammonium kvælstof over biofiltret i pågældende periode. Generelt er ammonium koncentrationerne noget højere andet måleår.

Total fosfor koncentrationen stiger fra starten af 1. måleår frem mod sommeren 2006 og ligger herefter generelt højere i resten af måleperioden (figur 23). Orthofosfat koncentrationen er generelt noget lavere i udløbsvandet i andet måleår, hvor koncentrationen typisk er under 0,02 mg/l frem til april 2007 for dog at stige til det dobbelte frem til sommeren 2007 (figur 22).

Organisk stof koncentrationen målt som henholdsvis BI_5 og COD forløber nogenlunde ensartet gennem måleperioden med relativt store variationer mellem de enkelte målinger (figur 23 og 24). I andet måleår er der faldende koncentrationen om vinteren, højere koncentrationer i foråret som så efterfølges af et fald over sommeren 2007 i modsætning til første måleår hvor koncentrationerne fra et lavt niveau steg fra forsøgsstart i august 2005 til august 2006. Suspenderet stof har overordnet det samme koncentrationsforløb i begge måleår, hvor der fraset enkelte målinger ikke er de store variationer fra uge til uge, men en tendens til højere koncentrationer år 2 med de højeste koncentrationer i foråret (figur 25).

7 Overholdelse af udlederkrav

I miljøgodkendelsen og efterfølgende tillæg/ændring heraf for Nørå Dambrug er der opstillet en række udlederkrav i forsøgsperioden (Ribe Amt, 2004 a og b). Udlederkravene er i miljøgodkendelsen formuleret som: ”.. at de anførte værdier er at betragte som en forøgelse af koncentrationen i forhold til det indvundne grund- og drænvand”, hvor de angivne kravværdier fremgår af tabel 8. Ribe Amt har stillet krav om, at overholdelse af udlederkravene foretages ved tilstandskontrol for alle 5 parametre på koncentration af stoffer i udløbsvandet efter Dansk Standard 2399 (*Dansk Standard, 1999*), dvs. som afløbskontrol og med statistisk kontrolberegning som for afløbsdata fra virksomhed.

DS 2239 er imidlertid beregnet til kontrol alene på udledninger, dvs. hvor der ikke er en koncentration i indløb (indtagsvand) og der alene benyttes prøver i afløbet. Men udledninger fra dambrug bør foretages med udgangspunkt i forskellen i koncentrationen hen over et dambrug dvs. på koncentrationsforøgelsen over dambruget, jf. *Bekendtgørelse for modeldambrug (2002)* og anbefalingerne i faglig rapport nr. 60 fra DMU om ”Afløbskontrol fra dambrug” (*Larsen og Svendsen, 1998*). Endvidere bør kontrollen for total kvælstof og total fosfor jvf. samme gennemføres som transportkontrol.

Beregningen af amtets krav til overholdelse af kravværdier er statistisk ikke muligt. Der opereres med koncentrationsforøgelser i afløbet, men DS 2339 kan kun anvendes på den faktiske koncentration i udledningerne og ikke på koncentrationsforskelle. Det skyldes, at der i DS 2339 skal omregnes til logaritmen af koncentrationen. Der kan ikke tages logaritmen af negative koncentrationer, som opstår i de tilfælde hvor indløbskoncentrationen er højere end koncentrationen i udløbet fra dambruget. Endvidere er logaritmen til differencen mellem to koncentrationer (dvs. $\log(a-b)$) ikke det samme som forskellen mellem logaritmen på de samme to tal (dvs. som $\log(a) - \log(b)$). Det vil derfor ikke være fagligt korrekt at anvende DS 2399 ved udlederkontrol på dambrug, som opererer med forskelskoncentrationer.

I tabel 8 er udlederkontrollen dels beregnet efter DS 2399 på de faktisk målte koncentrationer i udledningen (dvs. uden korrektion for koncentrationen i indtagsvandet, som jo ikke er mulig) og dels som forudsat i *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)*, dvs. efter *Larsen og Svendsen (1998)* på koncentrationsforøgelsen, men med tilstandskontrol for alle kemiske parametre for at kunne sammenligne med den metode, miljøgodkendelsen foreskriver. Det antages, at sikkerheden for overholdelse af udlederkravene skal være 95 % (sikkerheden for miljøet) som forudsat i Dambrugsbekendtgørelsen og anbefalet i *Pedersen et al. (2003)*. Sædvanligvis regnes 95 % statistisk sikkerhed for at være temmelig høj. Når DS2399 alene kan beregnes på de faktiske udledninger beregnes en for skrap kontrol, hvorfor kontrollen beregnet efter *Bekendtgørelse om modeldambrug (2002)* vil være den korrekte at lægge til grund for vurderingen af overholdelsen af udlederkravene. I tabel 8 vises udlederkontrollen for både første og andet måleår.

Den statistisk beregnede udlederværdi, der sammenholdes med udlederkravet, findes som gennemsnitskoncentrationen plus spredningen på koncentrationerne i kontrolperioden ganget med en statistisk justeringsfaktor jf. *Larsen og Svendsen (1998)* og *Pedersen et al. (2003)*. Kursiv i tabel 8 viser, hvor udlederkravene ikke har været overholdt for en given kemisk variabel ved den angivne kontrolmetode i kontrolperioden.

Kontrol parameter	Kravværdi i Miljøgodkendelsen mg l ⁻¹	Udledning efter DS 2399 mg l ⁻¹	Udledning efter Bekendt. modeldambrug mg l ⁻¹	Teoretiske kravværdier fra Dambrugsbekendtgørelsen mg l ⁻¹
Susp. Stof	10	3,50/5,13	-2,06/-0,344	18,9 (3,0)
NH ₄ -N	1,0	1,20/3,58	1,82/4,59	2,5 (0,4)
Total-N	4,4	9,47/10,70	5,80/7,15	3,8 (0,6)
Total-P	0,36	0,130/0,164	0,10/0,120	0,32 (0,05)
BI ₅	5,1	2,79/3,22	1,84/2,58	4,4-6,3 (0,7-1,0)

Tabel 8 Kontrol på udledningerne fra Nørå Dambrug for første og andet måleår. De beregnede statistiske udlederværdier er dels beregnet ud fra DS2399 = Dansk Standard for udlederkontrol (dvs. ikke på forskelskoncentrationen over dambruget men alene på udløbskoncentrationerne) dels beregnet efter miljøgodkendelsen men efter metoden anbefalet i Bekendtgørelsen om modeldambrug, jf. *Larsen og Svendsen (1998)* (dvs. på forskelskoncentrationen over dambruget), dog som tilstandskontrol for alle parametre. Udlederkontrollen er angivet for hvert af de to måleår. Der er beregnet efter en statistisk sikkerhed på overholdelse af udledninger på 95 %. Med kursiv er vist, hvor udlederkravene ikke er overholdt i henholdsvis første og andet måleår. I sidste kolonne er angivet de beregnede udlederkravværdier, hvis dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier (som er angivet i parentes) ganges med forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning til modeldambrug (330 l/s) og max. vandindtag efter ombygning (52,5 l/s) = 6,3.

Udlederkontrollen viser for begge måleår at Nørå Dambrug for suspenderet stof, total fosfor og BI₅ overholder udlederkravene til fulde uanset kontrolmetode, hvor total fosfor og BI₅ beregnet efter Bekendtgørelse for modeldambrug ligger på henholdsvis en tredjedel og godt halvdelen af udlederkravet. Dambruget har til gengæld ikke overholdt de af amtet opsatte udlederkrav for forsøgsperioden, hvad angår ammonium og total kvælstof uanset hvilken kontrolmetode der anvendes. Det fremgår, at alle udlederværdier har været noget højere i andet måleår især ift. suspenderet stof (ca. 50 %) og ammonium kvælstof (ca. 200 %). Udledningen efter Bekendtgørelsen for modeldambrug er 182 % år 1 og 459 % i år 2 for ammonium kvælstof og tilsvarende henholdsvis 132 % og 163 % for total kvælstof af udlederkravene.

I tabel 8 er også angivet, hvad kravværdien ville blive efter Dambrugsbekendtgørelsens vejledende udlederkravværdier, såfremt hele reduktionen i vandindtaget sammenlignet med før ombygningen til et modeldambrug blev godskrevet dambruget, svarende til faktor 6,3 (forholdet mellem tilladt vandindtag før ombygning på 330 l/s (svarende til medianminimum ved dambruget) og efter ombygning på 52,5 l/s) på udlederkravværdier. I så fald ville Nørå Dambrug fortsat år 2 overskride udlederkravene for ammonium kvælstof (184 % af udlederkravet) og total kvælstof (188 % af udlederkrav beregnet efter Bekendtgørelse om modeldambrug).

Det fremgår i øvrigt, at for suspenderet stof og ammonium-kvælstof har amtet i miljøgodkendelsen og den efterfølgende ændring heraf fastlagt kravværdierne betydeligt lavere end de teoretiske kravværdier efter dambrugsbekendtgørelsen, ved fuld kompensation for reduceret vandforbrug mens det for total kvælstof og total fosfor er lidt højere.

8 Massebalancer

8.1 Produktionsbidrag:

I følge den førte driftsjournal har foderforbruget i andet måleår i produktionsanlægget været på i alt 377,6 tons mod 296,5 tons i første måleår. Der er år 2 beregnet en produktion på 410,5 tons fisk (inkl. døde) svarende til en estimeret foderkvotient for hele produktionsanlægget på 0,920 (se kapitel 3). I første måleår er der produceret 342,4 tons fisk og foderkvotienten er beregnet til 0,866. I kapitel 3.2 er redegjort for beregning af produktionsbidraget, som er angivet i tabel 9 for måleår 1 og 2 med en antagelse om 1 % foderspild. For måleår 1 er produktionsbidraget ændret jf. diskussionen i kapitel 3.2 ift. 1 år rapporteringen (*Svensen et al, 2007*).

Produktionsbidrag	NH ₄ - N		Total-N		Total-P		BI ₅		COD	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
I kg	9.592	13.223	12.083	16.004	1.712	1.715	27.806	36.756	79.446	105.016
I kg pr. tons foder	32,3	35,0	40,8	42,4	5,8	4,5	93,8	97,3	267,9	278,1
I kg pr tons fisk	28,0	32,2	35,3	39,0	5,0	4,2	81,2	89,5	232,0	255,8

Tabel 9 Beregnede produktionsbidrag inkl. sættefiskeanlæg og leveredamme for henholdsvis første og andet måleår på Nørå Dambrug opgjort i kg, i kg pr. tons foderforbrug og i kg pr. tons produceret fisk (inklusive døde). I produktionsbidraget indgår et mindre bidrag af total kvælstof (N) og ammonium kvælstof fra leveredamme.

Det bemærkes, at produktionsbidraget beregnet i forhold til foderforbrug og produktion af fisk i det samlede produktionsanlæg er lidt lavere første måleår for alle parametre undtagen fosfor. Sidstnævnte kan relateres til brug af foder med et lavere fosforindhold (se kapitel 3).

8.2 Massebalancer

For at kunne beregne hvor meget stof der fjernes i forskellige dele af dambruget kræves opgørelser over, hvilke stofmængder der er tilført og afledt forskellige steder på dambruget. Herved kan der opstilles massebalancer hen over produktionsanlægget, plantelagunen, over hele dambruget m.v. Stofmængderne er (fraset produktionsbidraget) beregnet ved at gange en daglig vandmængde et givent målested med en tilhørende døgnmiddelkoncentration. Vandmængderne måles som beskrevet i kapitel 2 kontinuert i en række målepunkter, for hvilke der er beregnet en døgnmiddel vandmængde. De døgnlige stofkoncentrationer er fundet ved lineær interpolation mellem de målte døgnmiddelkoncentrationer fra prøvetagning af vandkemiske prøver hver 14. dag. Stofmængderne forskellige steder på dambruget fremgår af tabel 10.

De er to kilder til stofinput: Indtagsvandet (= I) fra to borer og foder som produktionsbidrag (= P). Produktionsbidraget ses som et stofbidrag fra spulevand fra mikrosigte, slamkegletømning og returskylning af biofiltre i produktionsanlægget samt via de forøgede stofmængder, der lø-

ber ud af produktionsanlægget og med klaringsvandet fra slambassinerne til plantelagunerne ift. indtagsvandet. Produktionsbidraget er opgjort samlet for produktionsanlægget dvs. inklusiv sættefiskeanlægget og leveredamme.

Produktionsbidraget er klart den væsentligste stoftilførselskilde til dambruget. Indtagsvandet udgør for ammonium kvælstof (0,8 %), total fosfor (4,1 %) og BI_5 (3,4 %), men har dog en vis betydning ift. COD (10 %) og ikke mindst total kvælstof med 31 %, hvor sidstnævnte kan tilskrives høje nitrat koncentrationer i indtags-(grund-)vandet.

Der er en vis usikkerhed på den vandmængde, der tilføres og afledes fra slambassinerne. Det skyldes dels at der kun tilføres vand i visse perioder, således at beregningerne er afhængige af dambrugets tidsangivelser for hvornår pumper fra slambrønde til slambassiner har kørt. Det vurderes dog at især for år 2 er mængden af klaringsvand og tilhørende kemiske stoffer sikkert fastlagt. Vandmængden til slambassinerne er år 2 målt med en lille usikkerhed, til gengæld er der større usikkerhed på de tilførte stofmængder. Slamvand til slambassinerne tilføres kun i visse perioder, når slamkegler tømmes og biofiltre returskylles. Vandmængden til slambassinerne måles kontinuert, mens vandprøver til de kemiske analyser kun udtages en gang hver 14. dag, således at beregningerne af de tilførte stofmængder er afhængige af at dambruget laver korrekte tidsangivelser for hvornår der startes og afsluttes tømning af slamkegler og af returskyllning af biofiltre, da koncentrationen i de udtagne vandkemiske prøver anvendes for de øvrige dage, hvor der tømmes slamkegler og returskylles filtre i en 14. dages periode. Endvidere er det også vigtigt at alt det slam der tilføres slambassinerne føres gennem det rør, hvor flowmåleren er monteret. Sugés således slam op "udenom" slambrønde underestimeres tilførslen til slambassinerne. Såfremt opgørelsen på basis af dambrugets registreringer af hvor længe (og hvornår) der returskylles biofiltre og tømmes slamkegler er unøjagtige/mangelfulde vil der være en forskel på den mængde vand, der beregnes i forbindelse hermed og den samlede vandtilførsel som er målt tilført til slambassinerne. Dette er kaldt "ekstra skyllevand" i tabel 10, og det fremgår at det udgør 46 % (58.000 ud af 125.000 m^3). Dette indikerer tydeligt, at dambrugets registreringer ikke har været præcise nok. I tabel 10 er den koncentration, som er anvendt i "ekstra skyllevand" sat lig den som måles i afløb fra produktionsanlægget, men det er sandsynligvis især returskyllning af biofiltre som dambruget ikke har registreret korrekt, således at der med det ekstra skyllevand reelt tilføres slambassinerne langt mere stof end angivet i tabel 10. Dette kan forklare, at der med klaringsvandet fraføres lige så meget total kvælstof som der er beregnet tilført slambassinet. Det kan også forklare, som det fremgår af tabel 12 (kapitel 9), at der tilsyneladende er beregnet en stor akkumulation af f.eks. total fosfor og organisk stof i produktionsanlægget år 2 uden dambruget eller projektet har set egentlige slamaflejringer heri og som heller ikke er set år 1. Det forklarer også, at der trods noget højere foderforbrug år 2 er tilført væsentligt mindre stof (op til $\frac{1}{2}$ del af år 1 for f.eks. COD) til slambassinerne via returskyllevand, tømning af slamkegler og spulevand fra mikrosigter. Problemstillingen uddybes i kapitel 9 og 12.

Det skal dog understreges, at dette ikke påvirker beregnede rensegrader over produktionsanlægget og over dambruget, men alene påvirker hvor meget af stoftilbageholdelsen/-omsætningen som tilskrives biofiltre og

slamkegler og hvor store tilbageholdelsesprocenterne over slambassinet er. Hvis tilførslen til slambassinerne underestimeres vil dette stof i stedet bliver beregnet som akkumuleret/omsat i selve produktionsanlægget og samtidig vil tilbageholdelsesprocenten over slambassinerne bliver underestimeret.

	Vand 1000m ³	Susp kg	NH ₄ -N kg	NO ₂₃ kg	Total N kg	OrthoP kg	Total P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagsvand (I)	1.341	9.588	106	4.537	4.934	13	72	1.237	10.957
Produktionsbidrag (P)	-	-	13.223	-	16.004	-	1.715	36.756	105.016
Samlet stofinput (I+P)	1.341	9.588	13.329	4.537	20.937	13	1.788	37.993	115.973
Slamkegler produktionsanlæg	4,8	14.128	90	17	849	68	643	9.603	22.985
Biofilterreturskyl produktionsanlæg	29	12.167	104	193	872	5	347	3.721	12.766
Spulevand mikrosigte	34	3.185	112	199	523	4	113	1.938	5.481
Ekstra skyllevand	58	301	128	517	719	3	9	292	1.334
Tilført slambassiner i alt	125	29.780	435	926	2.963	80	1.113	15.554	42.566
Afløb prod. anlæg til plantelagune	1.207	5.956	2.592	10.860	14.842	71	193	6.071	27.167
Klaringsvand fra slambassiner til plantelagune	125	9.977	1.679	702	2.970	9	275	3.452	13.919
Tilført plantelagune i alt	1.332	15.933	4.271	11.562	17.812	80	468	9.522	41.086
Udløb dambrug år 2	1.029	4.673	3.443	6.269	10.327	23	149	2.912	20.628
Udløb dambrug år 1	774	2.390	963	5.286	6.837	32	89	1.907	14.214

Tabel 10 Beregnede samlede stofmængder i andet måleår ved forskellige målesteder på Nørå Dambrug. I = stofmængder i indtagsvandet. P = produktionsbidrag fra fiskeproduktionen (foder). Der kan ikke beregnes produktionsbidrag for suspenderet stof, nitrat og orthofosfat. Til sammenligning er vist udløb fra dambruget år 1. Det gennemsnitlige vandindtag har været ca. 37,1 l/s år 1 og 42,5 l/s år 2. Foderforbruget er godt 27 % større år 2.

I tabel 10 er beregnet stofmængderne over de enkelte dele af dambruget. I det første måleår var stofmængden i afløb fra slambassinet (klaringsvand) betydeligt større end stofmængden der tilføres plantelagunerne ved afløb fra produktionsenheden for en række stoffer: for suspenderet stof 12 gange større, for ammonium kvælstof 1,4 gange større, for total fosfor 3,9 gange større og for organisk stof (BI₅ og COD) henholdsvis 4,9 og 2,5 gange større (Svendsen *et al.*, 2007). I det andet måleår udgør stofmængderne i klaringsvandet omvendt en noget mindre del end afløbet fra produktionsanlægget på nær for suspenderet stof og total fosfor, der er henholdsvis 1,7 og 1,4 gange større end afløb fra produktionsanlægget. Trods det faktum, at foderforbruget har været højere år 2 tilføres der mindre stof – typisk 40-50 % mindre – til slambassinerne for alle parametre på nær for kvælstof komponenterne (en faktor 2 højere; dog kun få procent mere total kvælstof). Der skal tages højde for at beregningerne af tilførslerne til slambassin er noget bedre andet måleår, hvor der ikke har været udfald på vandure og stoppede afløbsrør fra slambassiner.

Der tilføres fortsat en del ammonium kvælstof med klaringsvandet til plantelagunen fra slambassinerne grundet nitratreduktion i disse. Trods forbedringerne i andet måleår føres fortsat en betydelig del af det stof, der er tilbageholdt over produktionsanlægget og overført til slambassinerne, tilbage til plantelagunen.

Udledningerne af forskellige stoffer er 2. måleår generelt noget større end i 1. måleår, men foderforbruget er også 27 % større. År 2 er der målt føl-

gende procentuelle stigninger for stofferne sammenlignet med år 1: suspenderet stof 96 %, ammonium kvælstof 258 %, nitrat-nitrit kvælstof 19 %, total kvælstof 51 %, opløst fosfor – 28 % (fald), total fosfor 67 %, BI₅ 53 % samt COD 45 %.

Som omtalt i kapitel 5.3 tabes der vand over dambruget, netto 23 % år 2 og 33 % år 1. Dette skyldes primært nedsivning over plantelagunen. Der kan følge en vis mængde opløste stoffer med nedsivningsvandet. Der er i kapitel 9 inkluderet beregninger med en teoretisk "worst case" scenario for dette stoftab, svarende til hvad der er beregnet i den faglige slutrapport (Svendsen *et al.*, 2008).

For de fleste stoffer er tømning af slamkegler den vigtigste kilde for stoftilførsel til slambassinerne. Returskyllevand fra biofiltre er den væsentligst stofkilde for total kvælstof, men for både suspenderet stof, ammonium kvælstof og total kvælstof er betydningen af tømning af slamkegler og returskylning af biofiltre næsten lige store. Stoffjernelse med spulevand fra mikrosigterne er generelt kun af væsentlig betydning for ammonium og nitrat-nitrit kvælstof, hvor det er den vigtigste kilde (men dog kun en smule større end returskyllevand fra biofiltre). For suspenderet stof, total fosfor og organisk stof udgør stofindholdet i spulevand under en fjerdel af indhold i slam ved tømning af slamkegler. Dette uddybes i kapitel 9.

9 Rensegrader og stoffjernelse

9.1 Beregning af rensegrader

I dette kapitel beregnes stoffjernelsen over hele dambruget og over del-elementerne i produktionsanlæg, plantelagune m.v. Rensegraden beregnes ud fra to beregningsmetoder. Rensegraden R_N for en given kemisk variabel er bestemt ud fra anvisningen i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)*, som

$$R_N (\%) = ((P - U_N) / P) * 100, \text{ hvor} \quad (1)$$

P = produktionsbidraget

U_N = dambrugets nettoudledning, dvs. målte udledning U_M minus I som er input fra indtagsvand (boringer).

Denne metode kan kaldes nettorensesegraden, som svarer til at stoftilbageholdelsen over hele dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af produktionsbidraget P for det samme stof, dvs.

$$R_N (\%) = S_N / P * 100$$

Endvidere beregnes en bruttorensesegrad R_B hvor stoftilbageholdelsen over dambruget S_N for en given kemisk variabel bestemmes i procent af den samlede stoftilførsel dvs. ift. produktionsbidraget P plus stofbidraget fra indtagsvand (I), dvs.

$$R_B (\%) = (S_N / (I + P)) * 100 \quad (2)$$

Brug af ovenstående formler forudsætter at vandindtaget til dambruget udgør mindre end eller lig med 10 % af vandløbets medianminimumsvandføring, hvilket ikke fuldt ud er opfyldt for Nørå, da der i de to måleår i gennemsnit er indtaget henholdsvis 11 og 13 % af Grindsted Å's medianminimumsvandføring på 330 l/s på strækningen ved dambruget. Men som omtalt i kapitel 2.3 er medianminimum umiddelbart nedstrøms dambruget efter tilløb af Grene Å på 930 l/s, hvorved de max. 10 % fuldt ud er opfyldt.

9.2 Rensegrader over hele dambruget

Nettorensesegrader

Målinger og beregninger for andet måleår (tabel 11) viser, at nettorensesegraden (R_N) over hele dambruget er 66 % for total kvælstof (N) og 95 % for både total fosfor (P) og organisk stof udtrykt som BI_5 , hvilket er betydeligt højere end forudsætningerne i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* for type III modeldambrug. Bekendtgørelsen forudsætter rensegrader på henholdsvis 15 %, 65 % og 80 % for de tre kemiske variable for et type III modeldambrug med mikrosigter. For total kvælstof skal der til de 15 % dog tillægges, at plantelagunerne forudsættes at fjerne 1 g N pr

m² pr dag, dvs. 365 g pr. m² pr. år eller med de godt 6.700 m² plantelagune ved Nørå Dambrug (jf. kapitel 11) 2.450 kg total kvælstof pr. år. Omregnet svarer dette til at netto rensegraden for kvælstof mindst skal være 30 %, hvilket til fulde er opfyldt.

Resultaterne fra år 1 er genberegnet og indsat nederst i tabel 11. Det viser, at netto rensegraderne kun er et par procentpoint lavere år 2 end år 1 for total fosfor og organisk stof, men er 16 procentpoint lavere for ammonium kvælstof og 14 procentpoint lavere for total kvælstof. I perioden ultimo 2006 til april 2007 var ammonium kvælstof koncentrationerne i udløbet fra produktionsanlægget meget høje (se kapitel 6). Tilsvarende ændringer er sket for brutto rensegraderne.

Worst case scenario

I de beregnede rensegrader indgår det stof, der i et eller andet omfang er fjernet grundet nedsivning/vandtab fra plantelagunerne. De beregnede rensegrader er derfor et maksimalt mål for permanent stoffjernelse og omsætning. Med et vandtab på 33 % år 1 og 23 % år 2 over plantelagunen kan stoffjernelsen/omsætningen i et eller andet omfang være overestimeret. Der er derfor gennemført et fagligt ganske urealistisk "worst case scenario" som forudsætter at hele plantelagunens nettovandtab løber direkte i Grindsted Å med de koncentrationer, der er i indløbet til plantelagunen (vægtede opløste koncentrationer af klaringsvand og afløb fra produktionsanlægget, sættefiskeanlæg og leveredamme) uden nogen form for stoftab (tilbageholdelse og omsætning), dog således at suspenderet stof regnes 10 % af koncentrationen for så fin-partikulær, at den kan føres med nedsivningsvand, for total fosfor er det alt opløst fosfor, for BI₅ er der 4 % af total koncentrationen og for COD 10 %. Worst case scenariet er en situation, hvor man antager, at uanset at det meste af det vand der nedsiver genindvindes til indtagvand, omsættes/bindes i den umættede zone eller i grundvandet så sættes dette til 0 (ingen stoffjernelse/omsætning, rensning = 0) for at få det absolut nedre mål for rensegrader og højeste værdi for stoftab pr. kg foder og pr kg produceret fisk. De faktiske forhold ligger så et sted mellem beregningen baseret på målinger og "worst case" beregningerne og efter en faglig vurdering klart tættest på beregningerne baseret på målinger.

Med worst case scenariet bliver netto rensegraderne for total kvælstof 44 %, for total fosfor 94 % og for BI₅ 95 % og lever dermed stadig til fulde op til forudsætningerne i bekendtgørelsen.

Man skal være opmærksom på, at for modeldambrugene under forsøgsordningen er beregningsmæssigt dispenseret for kvælstofudledninger, således at det er den forventede rensegrad for fosfor, der initialt har bestemt den tilladte fodermængde. Anvendes formlen for beregning af maksimal fodertildeling for et modeldambrug, som den fremgår i *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* ville dambruget med de fundne rensegrader år 2 kunne øge foderforbruget ift. før ombygning (og uden mikrosigter) med en faktor 2,74 hvis det var total kvælstof rensegraden som regulerede fodertilladelsen, mens det vil give en faktor 16, hvis det var total fosfor eller BI₅ som regulerede det. Hvis netto-rensgraden fra første måleår kunne opnås vil det give en faktor 4,65 med kvælstof regulering og henholdsvis faktor 27 og 40 ved total fosfor og BI₅ regulering. Nørå Dambrug har under den 2-årige forsøgsperiode fået fordoblet sin fodertilladelse til 410 tons foder. Man skal være opmærksom på med den

nuværende regulering er det ikke alene rensegraderne, der skal opfyldes, men også de skærpede udlederkrav (kapitel 7), som ikke overholdes for kvælstof med de nuværende ellers høje rensegrader.

	Vand 1000 m ³	NH ₄ -N Kg	Total N kg	Total P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtag vand (I)	1.341	106	4.934	72	1.237	10.957
Produktionsbidrag (P)		13.223	16.004	1.715	36.756	105.016
Samlet stof bidrag (I+P)	1.341	13.329	20.937	1.788	37.993	115.973
Målte udledninger fra dambruget (U _M)	1.030	3.443	10.327	149	2.912	20.628
Netto udledning fra dambruget U _N (U _M -I)	-311	3.338	5.393	77	1.676	9.671
Nettorensgraden R _n (%) jf. formel 1		75	66	95	95	91
Bruttorensgraden R _s (%) jf. formel 2		74	51	92	92	82
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		8,1	13	0,19	4,1	24
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		8,4	25	0,36	7,1	50
Som ovenfor ved worst case (WC) scenario:						
WC-Nettorensgraden R _n (%) jf. formel 1		67	44	94	95	90
WC-Bruttorensgraden R _s (%) jf. formel 2		67	33	91	92	81
WC-Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		11	22	0,23	4,3	26
WC-Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		11	34	0,41	7,3	53
Reviderede resultater fra 1. måleår						
Nettorensgraden R _n (%) jf. formel 1		91	80	97	98	94
Bruttorensgraden R _s (%) jf. formel 2		90	59	95	93	84
Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		2,5	7,1	0,13	1,9	14
Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		2,8	20	0,26	5,6	42
Som ovenfor ved worst case (WC) scenario:						
WC-Nettorensgraden R _n (%) jf. formel 1		83	47	95	97	91
WC-Bruttorensgraden R _s (%) jf. formel 2		82	35	93	92	81
WC-Stofudledningen netto i g/ kg produceret fisk		4,7	19	0,25	2,7	20
WC-Stofudledningen brutto i g/ kg produceret fisk		5,0	32	0,37	6,4	48

Tabel 11 Udledninger til Grindsted Å og rensegrader over Nørå Dambrug for andet måleår ud fra henholdsvis samlede stofinput til dambruget (brutto) og ud fra produktionsbidraget (netto) og desuden stofudledningen opgivet som brutto og netto ift. mængde produceret fisk. Endvidere er med kursiv vist netto og brutto rensegrader, samt netto- og bruttostofudledninger ved et fagligt urealistisk worst case scenario. Til sammenligning er indsat genberegnete værdier for første måleår. Se i øvrigt teksten.

Bruttorensgrader

Forskellen mellem netto- og bruttorensgraderne afspejler, hvor meget stofbidraget fra indtagsvandet udgør af det samlede stofbidrag. Der er en beskedent forskel på de to rensegrader for ammonium kvælstof, total fosfor og BI₅ men relativ stor forskel for total kvælstof (15 procentpoint) og COD (9 procentpoint), hvilket understreger at stofindtaget med indtagsvandet har en vis betydning for det samlede stofinput mht. total kvælstof (ret høj nitrat- indhold i indtagsvandet) og COD (se også kapitel 6).

Der er ikke udregnet rensegrader for suspenderet stof, da det ikke giver mening at beregne et produktionsbidrag for suspenderet stof. Udledningen af suspenderet stof er generelt meget lav.

Stofudledninger pr. kg fisk

I tabel 11 findes også angivet stofudledningen i g pr. kg produceret fisk beregnet både ift. den faktiske udledning fra dambruget (brutto) og ift. nettoudledningen fra dambruget år 2 (netto) og de tilsvarende værdier er ligeledes vist for år 1. Nettostofudledningen er generelt betydeligt større år 2 for alle parametre. År 2 er stofudledningen 224 % større for ammonium kvælstof, 83 % for total kvælstof, 46 % for total fosfor, 116 % for BI_5 og 71 % for COD, når der ikke korrigeres for evt. stoftab med nedsivningsvandet. Medregnes stofindholdet i indtagsvandet som ved bruttoberegningen er stofudledningen pr. kg produceret fisk tilsvarende større for alle parametre år 2.

Sammenlignes udledningerne år 2 fra Nørå Dambrug med de tilsvarende netto stofudledninger pr. gram produceret fisk for Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*), som var:

- NH_4-N : 4-6 g pr. kg produceret fisk
- Total N: 5-11 g pr. kg produceret fisk
- Total P: 2 g pr. kg produceret fisk
- BI_5 : 20-28 g pr. kg produceret fisk

er de betydeligt lavere for total fosfor (faktor 10) og især BI_5 (faktor 5-7) men 1,5- 3 gange højere for ammonium kvælstof og 1,2-2,5 gange større for total kvælstof. År 1 er de målte specifikke nettostofudledninger lavere end år 2 og derfor tilsvarende mindre end dem fra Døstrup Dambrug. I kapitel 12 vurderes på årsagerne til de højere udledninger år 2, men driftsproblemer ultimo 2006 frem til april 2007 med høje ammonium kvælstof udledninger og en større fiskedød i maj 2007 i forbindelse med høje nitrit koncentrationer samt et 27 % større foderforbrug år 2 har givet haft væsentlig indflydelse på disse resultater.

I tabel 11 er også vist stoftabet ved worst case scenarie. Nettoudledningen af ammonium kvælstof pr. kg fisk år 2 ændres således fra 8,1 til 11 g, idet nettorenssegraden falder fra 75 % til 67 %. Tilsvarende stiger udledningen af total kvælstof fra 13 til 22 g/kg, idet nettorenssegraden falder fra 66 % til 44 %. For total fosfor er forskellene mindre og for organisk stof giver worst case scenariet ikke væsentlige forskelle sammenlignet med målte resultater, da andelen af opløst stof for disse kemiske komponenter er af mindre betydning.

9.3 Rensegrader over produktionsanlægget og over plantelaguner

I dette afsnit vises resultaterne for stoftilbageholdelse og rensegrader over produktionsanlægget (tabel 12) og over plantelagunerne (tabel 13). Stoffjernelsen i produktionsanlægget er et mål for, hvad der fysisk opsamles i slamkegler, biofiltre og mikrosigter og som føres over i slam-

bassinerne. Endvidere omfatter det omsætning og evt. akkumulering af stof i produktionsanlægget samt omsætning i biofiltrene og evt. omsætning i slamkeglerne ud over den fysiske tilbageholdelse heri. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er fundet som forskellen mellem det stof, der tilføres produktionsanlægget via boringsvandet og med produktionsbidraget minus det stof, der er målt i udløb fra produktionsanlægget til plantelagunen.

For plantelagunen beregnes stoftilbageholdelsen/-omsætningen som forskellen mellem det stof, der tilføres med afløbsvand fra produktionsanlægget og med klaringsvandet fra slambassinerne minus det stof som løber ud fra dambruget (dvs. afløb plantelagune).

Rensegraderne er både i tabel 12 og 13 beregnet på to måder:

- stoffjernelse i procent af den samlede stoftilførsel til produktionsanlægget (tabel 12) og til plantelagunen (tabel 13)
- stoffjernelse i procent af det samlede produktionsbidrag (tabel 12 og 13)

For plantelagunen beregnes stoffjernelsen endvidere i procent af den samlede stoftilførsel til dambruget (dvs. i procent af I + P fra tabel 11).

For produktionsanlægget er stoffjernelsen desuden blevet beregnet som angivet i de to dots ovenfor, men hvor der er kompenseret for at en større del af det stof, der overføres til slambassinerne via tømning af slamkegler, returskylning af biofiltre og spuling af mikrosigte, efterfølgende ledes til plantelagunen med klaringsvandet fra slamtank (tabel 12). Dette stof er dermed reelt ikke fjernet/tilbageholdt i slambassinerne. Der beregnes således et mål for netto stoffjernelse i/over slamfælder, biofiltre, mikrosigter og produktionsanlægget i øvrigt, mens stoffjernelsen udregnet uden der tages højde for afløb af stof med klaringsvandet, er et mål for brutto tilbageholdelsen/omsætningen i/over disse komponenter. Jo bedre man bliver til at reducere stofmængderne i klaringsvandet, des tættere vil netto og brutto tallene komme på hinanden og desto større reel rensning vil renseforanstaltningerne i produktionsanlægget inklusiv slambassiner kunne præstere. Samtidigt vil plantelagunen skulle tilbageholde mindre stof og udledninger kan antages at blive reduceret. For andet måleår er tabel 12 udvidet, idet der er beregnet netto- og brutto rensegrader for de enkelte dele af dambruget som slamkegler, biofiltre og fra mikrosigter fra produktionsenhederne.

For plantelagunerne er stoftilbageholdelsen/omsætningen også udtrykt i gram per m² plantelagune pr. dag for at kunne sammenligne bl.a. med andre dambrug (tabel 13).

Ved sammenligning af resultaterne i tabel 12 og 13 skal man være opmærksom på, at stof, der fjernes i produktionsanlægget og ikke senere tilføres plantelagunerne via klaringsvandet fra slambassinerne, ikke også kan fjernes i plantelagunerne. Det betyder, at plantelagunerne sandsynligvis kan fjerne mere af nogle stoffer end de faktisk gør, hvis de blev belastet hårdere.

Rensegrader over produktionsanlægget

Umiddelbart fjernes store dele (mellem 77 og 89 %) af stofinputtet over produktionsanlægget ift. ammonium, total fosfor og organisk stof (BI_5 og COD). Andelen er yderligere lidt højere, hvis stoffjernelse beregnes ift. produktionsbidraget. Til gengæld er stoffjernelsen af total kvælstof noget lavere (29 % af det samlede input og 38 % af produktionsbidraget). Disse værdier er 1 til 10 procentpoint lavere end i år 1. Imidlertid bliver en del af det stof, der er ført over i slambassinerne ved returskylning af biofiltre, tømning af slamkegler, med spulevand fra mikrosigterne samt fra renseforanstaltningerne i kummehus og sættefiskeanlæg, efterfølgende udledt til plantelagunen med klaringsvandet herfra. Den reelle nettostoffjernelse over produktionsanlæg ift. produktionsbidraget er 77 % for BI_5 og for total fosfor, 71 % for COD, 69 % for ammonium kvælstof og 20 % for total kvælstof (tabel 12). Sammenlignet med år 1 er disse nettorensgrader meget højere for total fosfor og organisk stof (28 til 46 procentpoint), men lavere for ammonium og total kvælstof (henholdsvis 10 og 4 procent point).

Årsagen til, at der for nogle kemiske stoffer kan måles lavere stoffjernelse i procent af input og samtidigt højere netto rensgrader år 2 er at nettostoftilbageholdelsen over slambassinerne år 2 tilsyneladende er højere år trods en vandtilførsel, der er godt 60 % højere. Tilbageholdelsen/omsætningen i slambassinerne i procent af tilførslen hertil er for BI_5 51 procentpoint højere år 2, 45 % for ammonium kvælstof, 18 procentpoint for COD og 10 procentpoint for total fosfor. I foråret 2006 (år 1) blev der taget et ekstra slambassin i brug (fra 2 til 3), som har øget opholdstiden og kapaciteten i slambassinerne. For de fleste stoffer er tilførslen til slambassinerne noget lavere år 2 (40-50 %), mens tilførslen af ammonium og nitrat-nitrit kvælstof dog næsten er fordoblet. Nettodannelsen af ammonium over slambassinerne grundet dissimilatorisk nitrat reduktion er øget ca. 35 %.

I år 2, hvor der for alle stoffer er et større produktionsbidrag end år 1 og dermed også et større samlet stofinput til produktionsanlægget, fjerner renseforanstaltningerne brutto tilsyneladende mindre total fosfor og organisk stof end i år 1, dvs. tilførslen til slambassinerne er væsentligt lavere år 2 af disse stoffer. Samtidigt er der en væsentlig større nettostoftilbageholdelse af disse stoffer over slambassinerne, hvilke giver de meget større rensgraderne over slambassinerne år 2. Med klaringsvandet udledes mellem 1/3 og 1/6 del suspenderet stof, total fosfor og organisk stof år 2 ift. i år 1. Alligevel udledes der, som et resultat af at renseforanstaltningerne år 2 fjerner mindre stof både absolut og procentuelt, samlet (udløb fra produktionsanlæg + klaringsvand) mere stof til plantelagunerne.

En umiddelbar forklaring på resultaterne i de to afsnit ovenfor vedrørende lavere stoftilførsel til slambassinerne trods større stofinput til dambruget år 2 kan som omtalt i kapitel 8 være en underestimering af stofmængderne i returskyllevand fra biofiltrene og til dels ved tømning af slamkegler. Hvis tilførslen til slambassinerne er underestimeret år 2 og da den afledte stofmængde med klaringsvandet vurderes at være korrekt fastlagt år 2, betyder det, at den reelle stoftilbageholdelse i slambassinerne år 2 er højere end hvad fremgår af tabel 12 og at nettostoftilbageholdelsen dermed også er højere over disse. Derved er der ikke den store modsætning i resultaterne.

	Vand 1000m ³	Susp. kg	NH ₄ -N kg	Total – N kg	Total -P kg	BI ₅ kg	COD kg
Indtagvand (I)	1.341	9.588	106	4.934	72	1.237	10.957
Produktionsbidrag (P)	-	-	13.223	16.004	1.715	36.756	105.016
Samlet stofinput (I+P)	1.341	9.588	13.329	20.937	1.788	37.993	115.973
 Afløb fra produktionsanlæg	1.207	5.956	2.592	14.842	193	6.071	27.167
Stoffjernelse over produktionsanlæg	131	3.632	10.737	6.095	1.594	31.922	88.807
 Stoffjernelse i % af input (I+P)	-	-	81 (91)	29 (37)	89 (90)	84 (88)	77 (79)
Stoffjernelse i % af produktionsbidraget (P)	-	-	81 (92)	38 (50)	93 (93)	87 (92)	85 (88)
 Stoffjernelse i mikrosigte	33.595	3.185	112	523	113	1.938	5481
Stoffjernelsen i mikrosigte i % af input (I+P)	3 (2)	33 (7)	1 (0)	2 (1)	6 (1)	5 (1)	5 (1)
Stoffjernelsen i mikrosigte i % af produktionsbidrag (P)			1 (0)	3 (2)	7 (1)	5 (1)	5 (1)
 Stoffjernelse i slamkegler	4,8	14.128	90	849	643	9.603	22.985
Stoffjernelsen i slamkegler i % af input (I+P)	0	147 (326)	1 (1)	4 (8)	36 (78)	25 (49)	20 (77)
Stoffjernelsen i slamkegler i % af produktionsbidrag			1 (1)	5 (11)	37 (80)	26 (51)	22 (86)
 Stoffjernelse i biofiltre ved returskyldning	29	12.167	104	872	347	3.721	12.766
Stoffjernelsen ved biofilter returskyldning i % af input (I+P)	0	127 (198)	1 (1)	4 (5)	19 (24)	10 (18)	11 (16)
Stoffjernelsen ved biofilterreturskyldning i % af produktionsbidrag			1 (1)	5 (6)	20 (25)	10 (18)	12 (18)
 Beregnet omsætning over produktionsanlæg			10.303	3.132	481	16.368	46.240
 Stoftilførsel til slambassiner	125	29.780	435	2.963	1.113	15.554	42.566
Stoffjernelse med klaringsvand (afløb slambassiner)	125	9.977	1.679	2.970	275	3.452	13.919
Tilbageholdelse over slambassiner	-0,06	19.803	-1.244	-6	839	12.102	28.647
 Stoftilbageholdelse over slambassiner i % af tilførslen	0	66 (21)	-286 (-421)	0 (-3)	75 (65)	78 (29)	67 (49)
Stoftilbageholdelse i % af input (I+P)	0 (-6)	207 (129)	-9 (-10)	0 (-1)	47 (73)	32 (24)	25 (50)
Stoftilbageholdelse i % af produktionsbidrag (P)			-9 (-10)	0 (-1)	49 (74)	33 (25)	27 (56)
 Samlet stoffjernelse over prod. anlæg (justeret for tab via klaringsvand)			9.058	3.126	1.320	28.470	74.888
Stoffjernelse over prod. anlæg, % af samlet input (I+P) (justeret for tab via klaringsvand)			68 (78)	15 (19)	74 (52)	75 (29)	65 (27)
Stoffjernelse over prod. anlæg, % af af prod.bidraget (P) (justeret for tab via klaringsvand)			69 (79)	20 (25)	77 (53)	77 (30)	71 (30)

Tabel 12 Stofbalance, og stoffjernelse over hele produktionsanlægget og de tilhørende rensegrader for andet måleår på Nørå Dambrug for de kemiske variable. Tal i parentes er for første måleår (genberegnet). Se tekst for nærmere forklaring.

Herudover viser tabel 12, at der sker en omsætning af f.eks. ammonium (nitrifikation) ikke mindst i biofiltrene. 78 % af ammonium kvælstof omsættes således i produktionsanlægget år 2 mod 89 % år 1. Da belastningen af biofiltret år 2 er større grundet 27 % større foderforbrug er nitrifikationsraten steget fra 0,13 g m⁻² dag⁻¹ i år 1 til 0,16 g m⁻² dag⁻¹ i år 2 (Svendsen et al, 2008). Dette til trods for, at der i perioden ultimo 2006 til april 2007 (år 2) var lavere nitrifikation, jf. de høje ammonium koncentrationer målt i produktionsanlægget i perioden.

Opgørelse er forbundet med en vis usikkerhed, da den findes ved at trække en række tal fra hinanden, som hver har en vis usikkerhed, således at den samlede usikkerhed på massebalancerne akkumuleres i den beregnede størrelse for stofomsætningen. Der beregnes en akkumulering

af fosfor og tilsvarende omsætning/akkumulering af organisk stof, som er stor også sammenlignet med år 1. Der er ikke meldinger om, at der skulle have været store slamaflejringer i produktionsanlægget, men der kan i forbindelse med fiskedød i maj 2007 godt være en del stof i selve produktionsanlægget, der efterfølgende er blevet pumpet op uden om renseforanstaltningerne. Vandbalancen er afstemt både for hele dambruget og for produktionsanlægget, de målte kemiske koncentrationer er målt med høj præcision og stofinput via produktionsbidraget til dambruget kendes rimeligt præcist. Som omtalt ligger den største usikkerhed på dambrugets tidsmæssige registrering af præcis hvornår slamkegle-tømning starter og stopper og tilsvarende for returskylning af biofiltre, således at tilførslen fra disse renseforanstaltninger til slambassiner givet er blevet underestimeret. En underestimering af stoftilførslen til slambassinerne betyder, at der i stedet beregnes en større omsætning/akkumulering i selve produktionsanlægget, da den samlede stof-fjernelse over produktionsanlægget er fastlagt ud fra målinger af input til dambruget (indtagsvand og produktionsbidrag) minus målte udledninger fra produktionsanlægget og med klaringsvandet klaret slamvand).

Den lave tømningfrekvens af slamkegler (én gang om ugen) kan også medføre større omsætning af BI₅ i disse samt en vis risiko for – især år 2 med højere foderforbrug - at de bliver så fyldte, at der akkumuleres slam i produktionsanlægget dvs. akkumuleres bl.a. total fosfor og organisk stof, som efterfølgende suges op og føres over i slambassiner, men uden det er oplyst for måleprogrammet. Dette vil medføre et større input til slambassinerne.

Fjernelsen af ammonium i produktionsenheden er et udtryk for at dette omdannes til nitrat i biofiltrene. Dermed fjernes der ikke netto kvælstof, men der sker i stedet en tilførsel af nitrat til plantelagunerne. Nitraten kan optages i planter, men især omsættes til frit kvælstof, da der på bunden af plantelagunerne er let omsætteligt organisk stof og iltfattige forhold. Noget nitrat kan måske også sive med vandet ud af bunden på plantelagunerne (se kapitel 12) og endelig kan det udledes med udledningerne fra dambruget.

Stoffjernelse over plantelagunerne

Vandtilførslen til plantelagunen (tabel 13) er andet måleår ca. 15 % større end i første, og tilsvarende er tilfældet for nogle af de kemiske stoffer: ammonium kvælstof 90 % større, nitrit-nitrat kvælstof 19 % større, total kvælstof 18 % større mens opløst fosfor er 32 % lavere, total fosfor 47 % lavere, BI₅ 55 % lavere og COD 39 % lavere.

Klaringsvandet er for nogle stoffer en stor eller den største kilde til stofinput til plantelagunen år 2. Det udgør 63 % af tilførslen af suspenderet stof, 39 % af ammonium kvælstof, 17 % af total kvælstof, 59 % af total fosfor, 36 % af BI₅ og 34 % af COD, mens resten kommer fra udløbet fra produktionsanlægget inklusiv sættefiskeanlæg og leveredamme. For de øvrige kemiske stoffer er klaringsvandet kun en lille kilde, da det kun udgør 6 % nitrat-nitrit kvælstof og 11 % af opløst fosfor. De tilsvarende værdier for år 1 viser at klaringsvandet da havde endnu større betydning end år 2, da det i år 1 udgør 91 % af suspenderet stof, 55 % af ammonium kvælstof, 1 % af nitrat-nitrit kvælstof, 19 % af total kvælstof, 4 % af opløst fosfor, 77 % af total fosfor, 81 % af BI₅ og 29 % af COD.

Såfremt der ikke tages højde et muligt stoftab med nedsivningsvandet ud af bunden på plantelagunerne tilbageholdes/omsættes ca. 19 % af det tilførte ammonium kvælstof i plantelagunerne. Tilsvarende tilbageholdes/omsættes 42-46 % af det tilførte nitrat og total kvælstof, 68-71 % af tilført opløst og total fosfor. Samtidigt omsættes der meget let omsætteligt organisk stof (69 % af tilført BI₅), mens tilbageholdelsen af tilført COD er lidt lavere, men dog 50 %. Generelt er tilbageholdelsen/omsætningen uændret år 2 ift. år 1 for nitrit-nitrat kvælstof og opløst fosfor, men en del lavere for ammonium kvælstof (23 procentpoint), total fosfor og BI₅ (22 procentpoint) samt COD (29 procentpoint).

	Vand 1000 m ³	Susp. kg	NH ₄ -N kg	NO ₂₃ -N kg	Total-N kg	Ortho-P kg	Total-P kg	BI ₅ kg	COD kg
Tilført plantelagune i alt	1.332	15.933	4.271	11.562	17.812	80	468	9.522	41.086
Udløb dambrug	1.030	4.673	3.443	6.269	10.327	23	149	2.912	20.628
Tilbageholdelse i plantelagune	303	11.260	827	5.293	7.485	57	319	6.610	20.458
Tilbageholdelse i plantelagune i % af input hertil	23 (33)	71 (94)	19 (57)	46 (46)	42 (55)	71 (73)	68 (90)	69 (91)	50 (79)
Tilbageholdelse i plantelagune af totale produktionsbidrag (%)			6,3		47		19	18	19
Tilbageholdelse i plantelagune af brutto input til dambruget (%)	23		6,2		36		18	17	18
Tilbageholdelse i plantelagune, g pr. m ⁻² dag ⁻¹		4,60	0,34	2,2	3,1	0,02	0,13	2,7	8,4
<i>Worst case stoftab med nedsivningsvand (kg)</i>		3,62	971	2.628	3.599	18	18	87	934
<i>Tilbageholdelse i plantelagunen korr. (worst case) (kg)</i>		10.898	-144	2.664	3.886	39	300	6.524	19.523
<i>Tilbageholdelse i plantelagune i % af input i plantelagunen korr. (worst case)</i>		68	-3,4	23	22	49	642	69	48
<i>Tilbageholdelse i plantelagune i % af produktionsbidrag korr. (worst case)</i>			-1,1		24		18	18	19
<i>Tilbageholdelse i plantelagune i % af brutto input dambrug korr. (worst case)</i>			-1,1		19		17	17	17
<i>Tilbageholdelse i g pr. m⁻² dag⁻¹ korr. (worst case)</i>		4,5	-0,06	1,1	1,6	0,02	0,12	2,7	8,0
<i>Tilbageholdelse i g pr. m⁻² dag⁻¹ korregeret (worst case) 1. måleår</i>		14	0,22	0,50	1,8	0,02	0,31	7,7	21
<i>Tilbageholdelse i plantelagune, g pr. m⁻² dag⁻¹ 1. måleår</i>		15	0,52	1,8	3,4	0,04	0,32	7,9	22

Tabel 13 Beregnet stoftilbageholdelse/-fjernelse over plantelagunen (ca. 6.700 m²) andet måleår på Nørå Dambrug, hvor der er vist resultater, som de er målt og ved et fagligt urealistisk worst case scenario korrektion for stoftab med nedsivningsvand ud over bunden på disse (vist med kursiv). Der er også vist de tilhørende rensegrader for de kemiske variable. Den samlede tilførsel til plantelagunen består af afløbsvand fra det samlede produktionsanlæg og klaringsvand fra slambassinerne. Tal i parentes er for første måleår (genberegnet). Se tekst for nærmere forklaring.

Ammonium og nitrat kvælstof, opløst fosfor og opløst organisk stof vil i et eller andet omfang kunne følge med det vand, der tabes over plantelagunen primært ved nedsivning. Det er ikke muligt præcist at vurdere, hvor det vand (28 % af tilførslen) der mistes over plantelagunen løber hen, men en del genindvindes uden tvivl som indtagsvand til dambruget. Noget af det opløste stof, der eventuelt følger med nedsivningsvandet vil også blive omsat i jorden under mættede forhold, f.eks. nitrat og BI₅ og en del af det opløste fosfor kan bindes til jordpartikler. Endeligt kan en andel nå grundvandet eller vandløbet længere nedstrøms.

For at vise et absolut worst case scenarium, som er fagligt ganske urealistisk og ikke vil forekomme i praksis, er det beregnet, hvordan stoftilbageholdelsen over plantelagunen på Nørå Dambrug ville være, hvis det antages at hele vandtabet over plantelagunen løber direkte i Grindsted Å med de opløste koncentrationer, der er målt i indløbet til plantelagunen og uden der sker nogen form for stoftilbageholdelse/-omsætning på dette. For ammonium og nitratkvælstof og opløst fosfor anvendes de faktisk

målte koncentrationer i indløbet til plantelagunen, for suspenderet stof, BI_5 og COD antages at henholdsvis 10 %, 4 % og 10 % af indløbskoncentrationen af disse stoffer at være på opløst form/tilhøre så små partikler, at det i et eller andet omfang kan sive ned gennem porer i plantelagunernes bundsediment/jordbunden under disse. Umiddelbart vurderet er det de målte tilbageholdelses-/omsætningsprocenter som er de mest realistiske, hvor en del af ammoniak omsætningen og nitratfjernelsen sker med nedsivningsvandet, men stadig bør regnes som en reel fjernelse/-omsætning heraf, da hovedparten næppe kan nå til vandløb eller fjernrecipienten.

Sammenlignes de målte rensegrader i plantelagunerne beregnet i forhold til produktionsbidraget med de tilsvarende rensegrader i produktionsanlægget (men efter der er taget højde for stoftabet med klaringsvandet), fjernes der i produktionsanlægget en langt større del af ammonium (69 %) og total fosfor (77 %) end i plantelagunerne, hvor der kun fjernes henholdsvis 6 % og 19 %. Tilsvarende er netto rensegraden af produktionsbidraget større i produktionsanlæg for BI_5 og COD (henholdsvis 77 % og 71 %) sammenlignet med plantelagunerne (henholdsvis 18 % og 19 %). For total kvælstof viser de tilsvarende værdier, at der fjernes mest i plantelagunen med 47 % mod 20 % i produktionsanlægget. Blev der ikke taget højde for stoftab via klaringsvandet ville renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fremstå med endnu større renseprocenter.

Betragtes stoffjernelsen med den faktiske stoftilførsel til henholdsvis produktionsanlægget og plantelagunen fjerner førstnævnte en væsentlig højere andel ammonium kvælstof (49 procent point) samt total fosfor og organisk stof (6-15 procent point) end plantelagunen, mens denne fjerner 27 procentpoint mere total kvælstof. En af årsagerne hertil er naturligvis, at stof fjernet i produktionsanlægget ikke efterfølgende kan fjernes i plantelagunerne.

Den målte stoffjernelse ift. overfladearealet i plantelagunerne er år 2 på 3,1 g N pr. m^2 pr. døgn for total kvælstof, hvilket er godt det tredobbelte af forudsætningen for modeldambrugene på 1,0 g pr. m^2 pr. døgn, som blev fastlagt efter der på Døstrup Dambrug var målt mellem 0,9 og 1,4 g N pr. m^2 pr. døgn (*Fjorback et al., 2003*). Selv ved worst case beregningen har kvælstoffjernelsen pr. arealenhed i plantelagunerne i 2. måleår været over forudsætningen (1,6 g N pr. m^2 pr. døgn). Selv om der også fjernes en del kvælstof andre steder på dambruget er det ikke tilstrækkeligt til overholdelse af udlederkravene for total kvælstof kontrolleret efter Bekendtgørelsen for modeldambrug, hvilket bl.a. hænger sammen med et højt foderforbrug år 2. For ammonium kvælstof, total fosfor og BI_5 er den målte stoffjernelse pr. m^2 plantelagune år 2 henholdsvis en faktor 1½, 2½ og 1,3 gange højere end resultaterne fra Døstrup Dambrug, som var:

- 0,16 - 0,29 g $\text{NH}_4\text{-N}$ pr. m^2 plantelagune pr. døgn
- 0,03 – 0,07 g fosfor pr. m^2 plantelagune pr. døgn
- 1,8- 2,5 g BI_5 pr. m^2 plantelagune pr. døgn

De målte stoffjernelser pr m^2 plantelagune er år 2 mellem ½ og ¼ af år 1 på nær for kvælstof, hvor den er lidt højere for nitrat-nitrit kvælstof, 33 % lavere for ammonium kvælstof og knap 10 % lavere for total kvælstof.

I den forbindelse skal det erindres at stoftilførslen af netop total fosfor og organisk stof til plantelagunen er lavere år 2, men højere for total kvælstof (ammonium og nitrat-nitrit kvælstof). Endvidere er der et større vandtab over plantelagunerne år 1 og opholdstiden er højere 42 timer (år 1) mod 36 timer (år 2).

Ved worst case scenariet beregnes ingen tilbageholdelse af ammonium kvælstof over plantelagunerne i 2. måleår (tværtimod, hvilket også indikerer at koncentrationen i nedsivningsvandet vil være lavere end den tilsvarende koncentration i indløbet til plantelagunen). Total kvælstoffjernelsen pr m² er halveret, mens nettotilbageholdelsen er ens for total fosfor og BI₅ sammenlignet med de målte værdier.

9.4 Sammenligning af stoftab over dambruget

I dette afsnit sættes summen af stoffjernelse/stofstab forskellige steder på dambruget til 100 % for direkte at kunne sammenligne stoffjernelsen over/stoftabet til:

- Produktionsanlæg, hvor der henholdsvis er taget højde for stoffjernelse med klaringsvandet (tabel 14) og ikke tages højde for det (figur 26). Der er ikke lavet en opdeling af, hvor meget stof der er fjernet i henholdsvis slamkegler, biofiltre og mikrosigter (se afsnit 9.2)
- Plantelagunen
- Vandløbet, dvs. hvad der tilføres Grindsted Å ved udløb fra dambruget

I tabel 14 findes værdierne ved:

$$\text{Samlet nettostoffjernelse} = (PA_s - KV_s) + PL_s + VL_s, \text{ hvor} \quad (3)$$

PA_s = stoffjernelse over produktionsanlægget brutto, dvs. uden kompensation for stofstab fra slambassinerne med klaringsvandet. Omfatter også omsætning og evt. akkumulering i produktionsanlægget

KV_s = stofstab med klaringsvandet fra slambassinerne

PL_s = stoffjernelse/stofstab over plantelagunerne

VL_s = stofstab fra dambruget til vandløbet som sker via udløbet fra dambruget

Nettostoffjernelsen/-tabet i ligning (3) svarer til den samlede stoftilførsel via produktionsbidraget og indtagsvandet

Idet den samlede nettostoffjernelse sættes til 100 % beregnes de tre andre størrelser i ligning 3 som procent af den samlede nettostoffjernelse.

I figur 29 er ligning 3 ændret til:

$$\text{Samlet bruttostoffjernelse/-tab} = PA_s + PL_s + VL_s \quad (4)$$

og den samlede bruttostoffjernelse/-tab er sat til 100 %. En del af det stof, der fjernes i produktionsanlægget ved overførsel til slambassinerne, tabes igen med klaringsvandet, og denne andel er vist som en negativ fjernelse i figur 27.

Nettostoffjernelsen over produktionsanlægget er med 68 % for ammonium kvælstof, 74 % for total fosfor 75 % for BI_5 og 65 % for COD den vigtigste renseforanstaltning på Nørå Dambrug ift. disse stoffer år 2 (tabel 14). Den tilsvarende værdi for total kvælstof er 15 %, hvor plantelagunen med 36 % af netto-kvælstoffjernelsen har væsentlig større betydning som renseforanstaltning. Trods renseforanstaltningerne udledes 49 % af den tilførte totale kvælstof mængde via produktionsbidrag og indtagsvandet til Grindsted Å (dvs. 51 % fjernes i renseforanstaltningerne). For total fosfor fjerner renseforanstaltningerne på Nørå Dambrug til sammen 92 %, dvs. stoftabet til Grindsted Å er på kun 8 %. For organisk stof er stoftabet til Grindsted Å også relativt lavt, 8 % for BI_5 og 18 % for COD, mens det er noget højere for ammonium kvælstof med 26 %. Fjernelsen af ammonium kvælstof over plantelagunerne kan være påvirket af vandtab ved nedsivning fra plantelagunerne.

For alle kemiske komponenter - på nær opløst fosfor - er det procentuelle (og absolutte) stoftab til Grindsted Å større i andet måleår, men mest for ammonium og total kvælstof, hvor det er henholdsvis 16 og 12 procentpoint højere. Samlet viser tabel 14, at der for især kvælstof fortsat er potentiale for øget stoffjernelse i dambruget/yderligere renseforanstaltninger.

	NH ₄ -N (%)		TN (%)		TP (%)		BI ₅ (%)		COD (%)	
	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2	År 1	År 2
Produktionsanlæg – klaringsvand (PA_s – KV_s)	77,1	68,0	16,9	14,9	51,0	73,8	28,6	74,9	26,0	64,6
I plantelagune (PL_s)	13,0	6,2	45,6	35,8	44,0	17,8	65,0	17,4	58,5	17,6
Til vandløb (VL_s)	9,8	25,8	37,5	49,3	5,0	8,4	6,4	7,7	15,5	17,8

Tabel 14 Sammenligning af netto stoffjernelse/stoftab over produktionsanlægget (dvs. hvor der er kompenseret for stoftab med klaringsvandet til plantelagunerne) og plantelagunen samt stoftilførsel (stoftab) til vandløb angivet for begge måleår for Nørå Dambrug. Tal fra tabel 12 og 13, tal for første måleår er genberegnet i forhold til Svendsen et al. (2007). Summen af de tre nettostoffjernelser/stoftab er lig med stoftilførslen via produktionsbidrag og indtagsvand.

En mindre andel af nettostoffjernelsen/-tabet af ammonium og total kvælstof foregår 2. måleår i selve produktionsanlægget, hvor det procentuelle tab heraf til Grindsted Å også er steget. For total fosfor og organisk stof er nettostoffjernelsen over produktionsanlægget væsentligt større år 2, for total fosfor stiger det fra 51 til 74 %, for BI_5 fra 29 til 75 % og for COD fra 26 til 65 %, men alligevel er det procentuelle stoftab til Grindsted Å marginalt øget (1-3 procentpoint) for disse stoffer. Det skyldes, at plantelagunernes procentuelle stoffjernelse/-omsætning er faldet endnu mere end fjernelsen er steget i produktionsanlægget. Den større stoffjernelse år 2 medfører lavere stoftilførsel til plantelagunen, der derfor har mindre stof at fjerne af (ud over at vandtab og opholdstid også er lavere år 2 i denne). For ammonium kvælstof ses tydeligt effekten af problemstillingen med lav nitrifikation af ammonium i biofiltrene fra december 2006 til april 2007 (år 2), som kan forklare faldet i den procentuelle netto-omsætning heraf i produktionsanlægget. Der henvises i øvrigt til kapitel 12. Plantelagunen kan ikke omsætte det tilførte ammonium kvælstof,

hvorfor det ender som et øget tab til Grindsted Å. Samlet er plantelagunens procentuelle andel af nettostoffjernelsen lavere år 2 for alle kemiske stoffer.

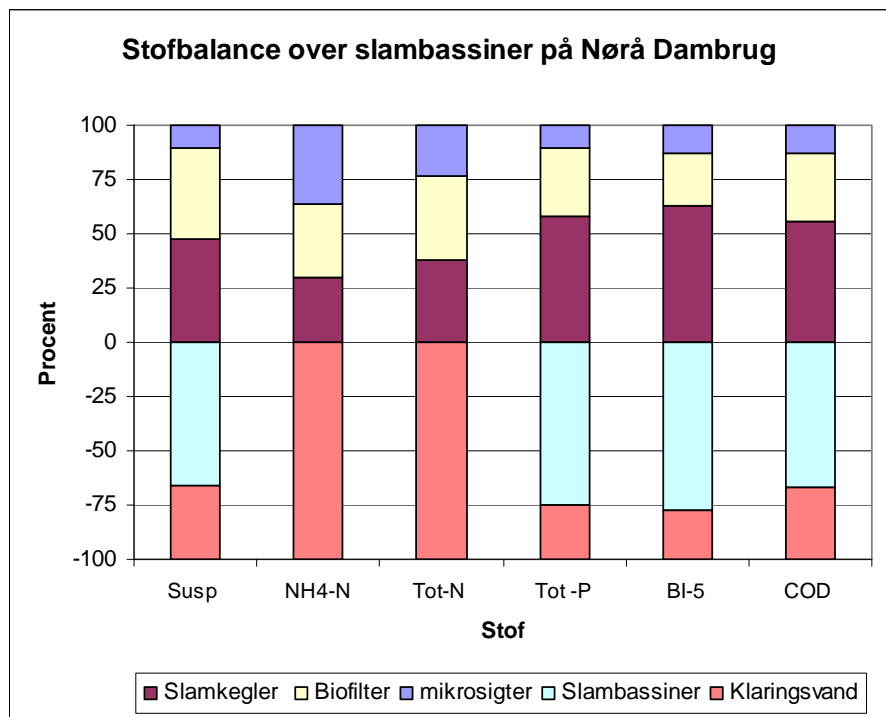
Der skal ved vurdering af resultaterne også tages højde for at der i maj 2007 (år 2) har været en episode med ca. 12 tons døde fisk, der vil påvirke rensegraderne år 2.

Hvis der laves en worst case scenario beregning på tabel 14 ville det betyde at nettostoffjernelsen/-tabet ville falde nogle procentpoint og tilsvarende vil tabet til vandløbet stige det samme antal procent point, mens betydningen af netto stoffjernelsen over produktionsanlægget ville være uændret.

Stofbalance over slambassin

Stoftilførslen til slambassinerne kommer fra spulevandet fra mikrosigterne, slamvand fra slamkegler og returskyllevandet fra biofiltrene. Spulevandet fra mikrosigten føres direkte i slambassinerne og føres ikke først til en klaringsbeholder. Herudover kan der være overført slam akkumuleret i produktionsanlægget, men det er ikke oplyst overfor måleprogrammet og indgår derfor ikke i beregningerne. Sættes den samlede stoftilførsel til slambassinerne til 100 % som i figur 26, fremgår det, at for partikelbundet materiale dvs. suspenderet stof, total fosfor og organisk stof kommer hovedparten (48-63 %) med slamperkulatet ved tømning af slamkegler. Næstvigtigste kilde er returskyllevandet fra biofiltret (24-41 %), mens stoftilførsel med spulevand fra mikrosigterne for disse stoffer er den mindste kilde med typisk 10-13 % af tilførslen. For ammoniumkvælstof er de tilførte mængder meget små, med mikrosigterne (37 %), returskyllevandet (34 %) og slamkegler (30 %) næsten ens. For total kvælstof er hovedkilderne returskyllevand fra biofiltre (39 %) og tømning af slamkegler (38 %). Tilbageholdelsen/-omsætningen i slambassinerne ift. tilførslen er 67 til 78 % for suspenderet stof, total fosfor og organisk stof. Den er ubetydelig for kvælstof grundet reduktion af nitrat til ammonium i slambassinerne, dvs. der sker en nettoproduktion af ammoniumkvælstof (nettotilbageholdelsen er også 0) i slambassinerne som afledes til plantelagunerne. Hvor kun 22-33 % af det tilførte suspenderede stof, total fosfor og organiske stof føres med klaringsvandet til plantelagunerne, er det næsten al total kvælstof.

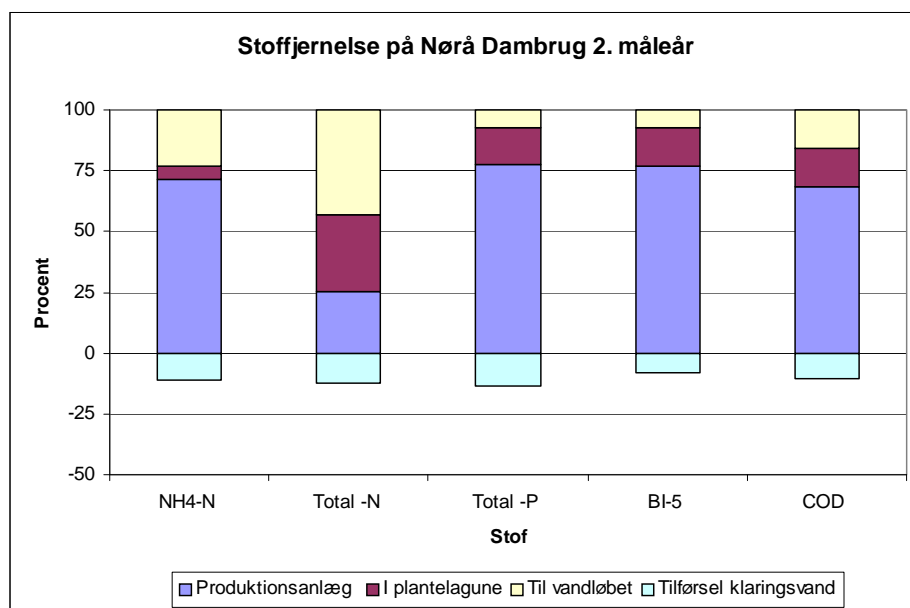
Det skal understreges, at eftersom mængden af tilført slam til slambassinerne forekommer at være underestimeret i et eller andet omfang, kan det betyde, at fordelingen mellem betydningen af slamkegler, biofiltre og mikrosigter reelt vil være anderledes. Såfremt det som formodet især er mængden af stof med returskyllevandet der er underestimeret, vil biofiltrene reelt have større betydning.



Figur 26 Kilder til stoftilførsel og stoffjernelse over slambassinerne på Nørå Dambrug i andet måleår. Stofinputtet kommer fra returskylning af biofiltere, tømning af slamkegler samt spulevand fra mikrosigterne. Stofindholdet i klaringsvandet er udtryk for den stofmængde, der tabes fra slambassinerne til plantelagunen.

Stoftilførslen til slambassiner år 2 er som omtalt noget lavere for suspenderet stof, total fosfor og organisk stof, men ca. den samme for total kvælstof trods 27 % større foderforbrug år 2. Nettotilbageholdelsen/-omsætningen over slambassinerne er år 2 væsentlig bedre for de partikulært bunde stoffer, hvorfor tabet heraf med klaringsvandet også har været noget større år 1 mellem: 34 % for total fosfor, 51 % COD, 71 % BI₅ og 79 % for suspenderet stof.

Tabet med klaringsvandet for total fosfor svarer til den mængde, der fjernes over plantelagunen, mens det for organisk stof svarer til ca. 60 % heraf. Det er ikke hensigtsmæssigt, at en større del af det stof, som allerede er blevet fjernet i slamkegler, biofiltere og mikrosigter og ført over i slambassiner, umiddelbart herefter mobiliseres og ledes tilbage til plantelagunerne. Især i år 1 drejer det sig om store mængder, mens udvidelsen af slambassin-kapaciteten i år 2 har forbedret situationen. Figur 27 viser, at der består et mindre potentiale for yderligere stoffjernelse i produktionsanlægget inklusiv slambassinerne for nogle stoffer, hvis tabet via klaringsvandet kan reduceres, herunder også hvis kvælstof- og fosforandelene på henholdsvis ammonium og opløst form reduceres. En del af stoftabet med klaringsvandet kan dog efterfølgende fjernes i plantelagunen, dvs. den absolutte stoffjernelse i disse kan blive reduceret ved en lavere belastning. Endvidere indgår det organiske stof i denitrifikationen i plantelagunen, hvorved kvælstoffjernelsen forbedres.



Figur 27 Stoffjernelse på Nørå Dambrug andet måleår. Summen af stof fjernet i produktionsanlægget og over plantelagunerne samt tilført vandløbet er sat til 100 %. Stoffjernelsen i produktionsanlægget er vist som brutto tilført slambassiner, men da der bliver tilbageført stof med klaringsvandet til plantelagunen er dette bidrag vist som en negativ stoffjernelse, dvs. nettofjernelsen (%) er forskellen mellem den mørkeblå og den lyseblå søjle. Baseret på tabel 12 og 13.

10 Vandløbsfauna

Der er indsamlet prøver af smådyrsfaunaen med henblik på biologisk vurdering af tilstanden på to stationer i Grindsted Å henholdsvis op- og nedstrøms Nørå Dambrug. Derudover er smådyrsfaunaen indsamlet i Grene Å umiddelbart opstrøms for dets udløb i Grindsted Å, som sker umiddelbart nedstrøms dambruget. Der er endvidere foretaget en fysisk bedømmelse af vandløbsstationerne med henblik på beregning af et vandløbsfysisk indeks (*Pedersen et al. 2007*).

10.1 Fysiske forhold i Grindsted Å og Grene Å

Den station, hvor opstrømsprøven indsamles i Grindsted Å er beliggende ved Krog Bro ca. 800 meter opstrøms for Nørå Dambrug. Grindsted Å løber her lysåbent omgivet af græsset og ugræsset eng. På strækningen er vandløbet ca. 3,5-4 meter bredt med dybder på 0,4-0,7 meter. Vandløbsbunden er fuldstændig domineret af sand. Der er udvikling af høller og stryg på strækningen, hvor undervandsvegetationen dækker ca. 40-80 % af bunden. Vegetationen består overvejende af Vandranunkel. Vandløbet er lettere okkerpåvirket. Det vandløbsfysiske indeks på strækningen har i perioden ligget på 21-26, svarende til moderat fysisk vandløbskvalitet.

I Grene Å's nederste del indsamles en faunaprøve umiddelbart inden Grene Å løber sammen med Grindsted Å. Vandløbet løber her lysåbent, men dybt nedskåret. Strækningen er fysisk modificeret med faskiner i begge sider af vandløbet. Bredden er ca. 5 meter med en dybde på 0,5-0,6 meter. Bunden er overvejende sandet, men der er en enkelt mindre grusbanke i vandløbets ene side. Dækning af undervandsvegetationen har i perioden varieret mellem 30-80 %. Det vandløbsfysiske indeks har i perioden ligget på 4-11, svarende til ringe fysisk vandløbskvalitet.

Nedstrøms stationen i Grindsted Å er beliggende ca. 200 meter neden for dambruget og nedstrøms for Grene Å's tilløb til Grindsted Å. Vandløbet forløber lysåbent på strækningen omgivet af ugræsset eng. Vandløbet er 6-8 meter bredt med en dybde på 0,4-0,7 meter. Bunden er sandet med svag udvikling af høller og stryg. Undervandsvegetationen består af en række arter, med Vandranunkel som den dominerende art. Dækningen af undervandsvegetationen udgør ca. 40-80 %. Det overordnede fysiske forløb af vandløbet er mæanderende. Det fysiske indeks på strækningen har i perioden ligget på 21-28, svarende til moderat fysisk vandløbskvalitet.

10.2 Smådyrsfauna

Der er i alt registreret 70 forskellige taxa fra de to stationer i Grindsted Å samt stationen i Grene Å udført af DMU i perioden februar 2005 til juni 2007. De artsrigeste grupper har været vårfluer, slørvinger og døgnfluer med henholdsvis 12, 8 og 7 arter. Dansemyg er dog ikke artsbestemt.

Denne gruppe indeholder utvivlsomt et større antal af arter end nogen af de forannævnte grupper.

Samlet set er smådyrsfaunaen på de tre stationer domineret af tolerante former som alle er vidt udbredt i jyske vandløb. De hyppigste taxa er børsteorm (Oligochaeta), ferskvandstangloppen *Gammarus pulex*, dansemyg (Chironomidae), kvægmyg (Simuliidae), døgnfluer af slægten *Baetis* og vandsbænkebidderen *Asellus aquaticus*. Disse 6 taxa udgjorde samlet henholdsvis 76-96, 64-97 og 84-95 % af individerne gennem perioden indsamlet fra henholdsvis opstrøms stationen i Grindsted Å, Grene Å og nedstrøms stationen i Grindsted Å. Der forekommer en sporadisk rentvandsfauna som primært blev registreret i Grindsted Å opstrøms for Nørå Dambrug. Hertil medregnes følgende arter: døgnfluerne *Nigrobaetis niger*, *Leptophlebia marginata* og *Paraleptophlebia* sp. samt slørvingerne *Amphinemura standfussi*, *Protonemura meyeri*, *Leuctra hippopus* og *Isoperla* sp. Døgnfluen *Serratella ignita*, der er forholdsvis tolerant over for forringet vandkvalitet, blev i juni 2006 fundet talrigt på alle tre stationer.

På stationen i Grindsted Å opstrøms for Nørå Dambrug er tilstanden udtrykt ved Dansk Vandløbsfaunaindeks DVFI (*Miljøstyrelsen, 1998* og *Skriver et al., 1999*) fra marts 2004 til december 2006 på 5-7 (tabel 15). Ved den sidste prøvetagning i juni 2007 var faunaklassen DVFI 4. Målsætningen for vandløbet er således været opfyldt ved 9 ud af 10 prøvetagninger.

På stationen i Grene Å er DVFI i to tilfælde 5, mens den i de sidste tre tilfælde er DVFI 3 og 4. Faunaen i Grene Å er generelt væsentligt forureningspåvirket. Der er ved fire ud af fem prøvetagninger fundet mange vandbænkebidere *Asellus*, og ligeledes ved fire ud af fem prøvetagninger er der massiv forekomst af børsteorme. I et enkelt tilfælde er der endvidere betydelig forekomst af dansemyggen *Chironomus*. Den noget ustabile fauna med periodisk forekomst af mange forureningstolerante arter og individer tyder på, at vandløbet jævnlige belastes i væsentlig grad fra opstrøms beliggende punktkilder. Målsætningen for vandløbet er derfor kun i enkelte tilfælde opfyldt.

	DMU/amt/kommune	Grindsted Å, opstrøms	Grene Å, opstrøms	Grindsted Å, nedstrøms
Marts 2004	Ribe Amt	5	-	4
Februar 2005	DMU	5	5	4
April 2005	Ribe Amt	5	-	4
September 2005	Ribe Amt	5	-	5
September 2005	DMU	7	3	4
Marts 2006	Ribe Amt	5	-	4
Juni 2006	DMU	5	5	5
September 2006	Ribe Amt	7	-	4
December 2006	DMU	5	4	5
Juni 2007	DMU	4	4	4

Tabel 15 Tilstanden i Grindsted Å op- og nedstrøms Nørå Dambrug samt i Grene Å opstrøms for Nørå Dambrug udtrykt ved Dansk Vandløbsfaunaindeks. Målinger er foretaget af henholdsvis Ribe Amt og DMU. En streg i tabellen angiver at Ribe Amt ikke har indsamlet faunaprøver i Grene Å.

I Grindsted Å nedstrøms for Nørå Dambrug er DVFI i 7 ud af 10 tilfælde 4 og i tre tilfælde 5. Faunaen er ved tre af de fem prøvetagninger foreta-

get af DMU domineret af de forureningstolerante former vandbænkebidderen *Asellus* samt børsteorm. Derudover er der i ét tilfælde massiv forekomst af hundeglen *Erpobdella*. Samtidig hermed forekommer rentvandsfaunaen meget sporadisk og fåtalligt. Betragtet som helhed må vandløbet vurderes som væsentligt forureningspåvirket, og målsætningen nedstrøms for Nørå Dambrug er generelt ikke opfyldt.

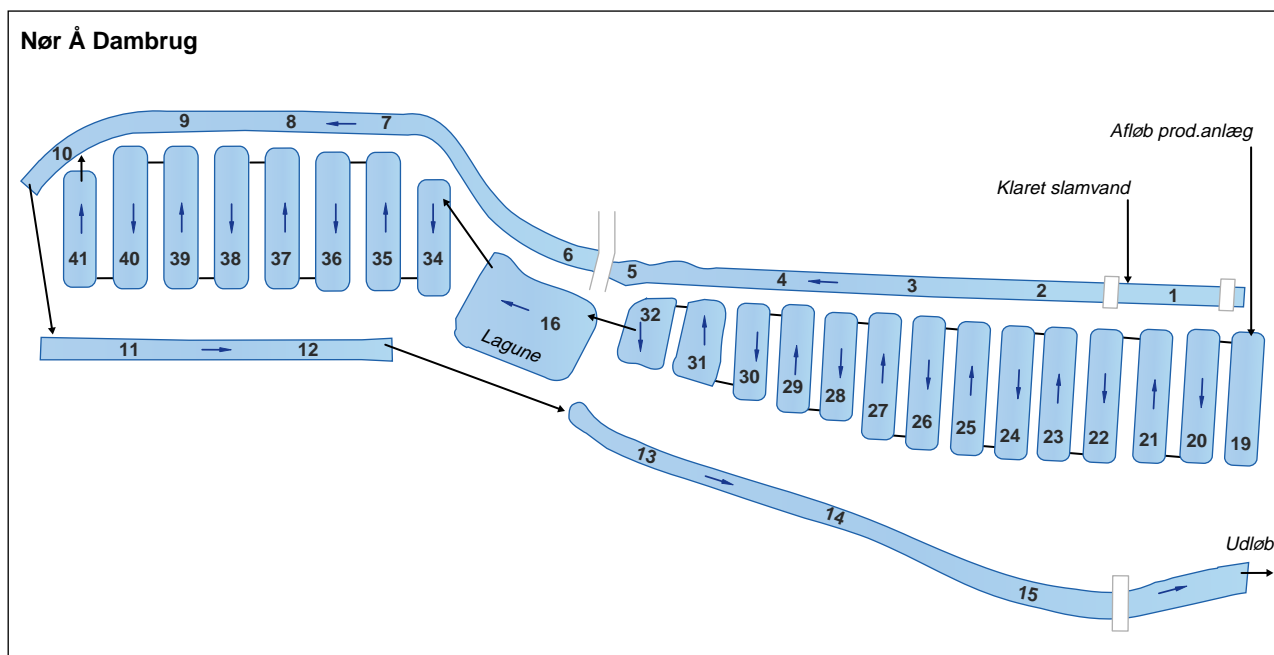
Vurdering af betydningen af belastningen fra Nørå Dambrug på tilstanden i Grindsted Å vanskeliggøres af at Grene Å periodisk er væsentligt belastet fra opstrømsbeliggende punktkilder. Udledning af organisk stof til Grene Å kan således have betydning for den generelt ikke tilfredsstillende tilstand i Grindsted Å nedstrøms for Nørå Dambrug.

11 Planter i grødefyldte bassiner

På baggrund af opmålinger af de grødefyldte bassiner som udgør plantelagunen (en del af de tidligere produktionsdamme og føde-/bagkanaler), kan denne karakteriseres (tabel 16). Figur 29 er en principskitse af plantelagunen.

Nørå Dambrug	
Antal grødefyldte bassiner/kanaler	23 bassiner + 375 m kanaler
Samlet areal	6.717 m ²
Middeldybde	0,82 m
Samlet volumen	5.500 m ³
Gennemstrømning	Måleår 1: 36,7 l/s Måleår 2: 42,3 l/s
Beregnet opholdstid (middel)	Måleår 1: 41,6 timer Måleår 2: 36,1 timer

Tabel 16 Antal bassiner/kanaler, samt areal, middeldybde og volumen af de grødefyldte bassiner som plantelagunen består af på Nørå Dambrug. På baggrund af det samlede volumen og den målte gennemstrømning er den gennemsnitlige opholdstid beregnet.



Figur 28 Principskitse af plantelagunen på Nørå Dambrug, hvor pile angiver vandets strømning. Se også figur 1 i kapitel 2. Tal viser hvilke damme og hvor i kanaler, der er lavet måling af plantedækningsgrader.

Med henblik på registrering af plantedækning og forekomst af de enkelte arter er der defineret i alt 41 bassiner og kanalfsnit (figur 28). Heraf er der i 27 bassiner og kanalfsnit foretaget registrering af vegetationens samlede dækning, samt dækning af forekommende plantearter på en 6 trins skala (0-5, 5-10, 10-25, 25-50, 50-75, 75-100 % dækning). Ved maksimal udvikling af vegetationen i september 2006 og 2007 er der udtaget prøver fra de dominerende plantearter til bestemmelse af tørvægt pr. m².

Efterfølgende er de udtagne planter analyseret for indhold af kvælstof og fosfor, således at planternes samlede indhold af kvælstof og fosfor gennem året kan beregnes. En oversigt med indholdet af kvælstof og fosfor pr. gram tørvægt af de enkelte plantearter er vist i tabel 17.

Art	Kvælstof (g N pr. kg tørvægt)	Fosfor (g P pr. kg tørvægt)
Sødgræs (n = 26)	32,9	4,2
Liden Andemad (n = 28)	49,6	8,7
Mærke (n = 9)	36,4	4,6
Vandstjerne (n = 2)	53,9	28,6
Trådalger (n = 5)	41,1	8,5

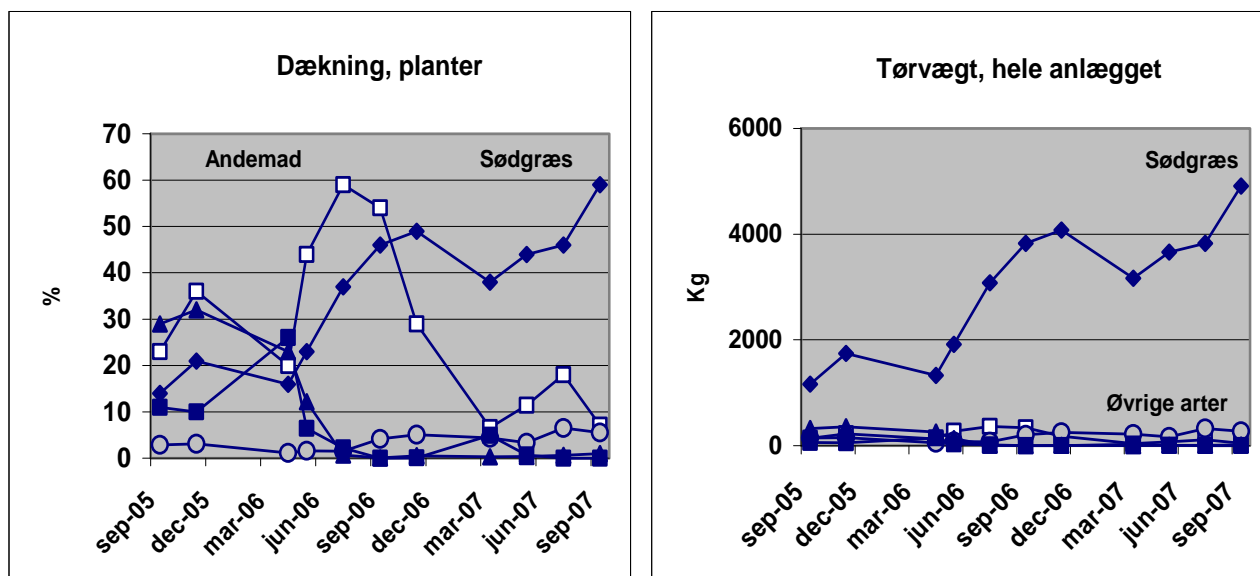
Tabel 17 Indhold af kvælstof og fosfor i de fem dominerende plantearter i plantelagunen på Nørå Dambrug. Indholdet af kvælstof og fosfor er målt i prøver ved maksimal plantedækning (september 2006 og 2007). Antallet af prøver for hver planteart er angivet (n). Sødgræs i de grødefyldte bassiner består udelukkende af Manna Sødgræs.

Planternes dækning i plantelagunen er registreret fra september 2005 til september 2007. Ud af i alt 24 plantearter er det kun 5 arter, der kvantitativt er betydende i de grødefyldte bassiner. Alle øvrige arter forekommer kun sporadisk.

Gennem det første år fra september 2005 til september 2006 skiftede dominansforholdet i dækningen mellem 4 typer af vandplanter. Sødgræs starter med forholdsvis lille dækningsgrad i september 2005 på 14 % (figur 29). Hen gennem vækstsæsonen i 2006 øges dækningen til knapt 50 %. I september 2007 når dækningen op på 60 %. Liden Andemad har om sensommeren og efteråret maksimum i dækningen. I 2005 og 2006 når dækningen henholdsvis 37 % og 60 %, mens dækningen i 2007 kun kommer op på 18 %. Vandstjerne har i efteråret 2005 og foråret 2006 en dækning på 23-32 %. Herefter falder dækningen næsten momentant til værdier under 1 %. Trådalgerne har i efteråret 2005 en dækning på ca. 10 %, og når i foråret 2006 op på 26 %. I resten af perioden frem til efteråret 2007 er dækningen af trådalgerne kun 0-5 %. Smalbladet Mærke registreres gennem hele undersøgelsesforløbet, og har i efterårsperioderne en ret stabil dækning på 3-6 %.

Med udgangspunkt i tørvægten er Sødgræs ved alle prøvetagninger den dominerende planteart (figur 29). Fra september 2005 til september 2007 stiger tørvægten af Sødgræs fra 273 gram pr. m² til 780 gram pr. m² (tabel 18). Ingen af de øvrige plantearter har på noget tidspunkt en tørvægt over 53 gram pr. m². I plantelagunen som helhed stiger tørvægten af de fem dominerende plantearter gennem perioden fra knapt 1.900 kg i september 2005 til godt 5.200 kg i september 2007 (tabel 19). Som følge af at stigningen i den samlede tørvægt er forårsaget af tilvæksten af Sødgræs øgedes den procentvise andel af Sødgræs i prøverne fra september måned i de enkelte år fra 64 % i 2005 til 88 % i 2006 og endelig til 94 % i 2007.

Indholdet af kvælstof og fosfor i de fem dominerende plantearter i de plantelagunen afspejler i det store og hele den samlede tørvægt af planterne samt planternes indbyrdes mængdeforhold hen gennem undersøgelsesperioden (figur 30).



Figur 29 Planternes forekomst i plantelagunen udtrykt som plantedækning i % (venstre figur) og som kg tørvægt i hele systemet (højre figur). Kun Sødgræs har kvantitativ betydning gennem perioden når sammenstillingen foretages på basis af tørvægten. Med trekant er det Vandstjerne, firkant er trådalger og åben cirkel Smalbladet Mærke

Art	Dækning (%)		Tørvægt (g m ⁻²)	
	marts-maj	sept.-nov.	april-maj	sept.-nov.
Sødgræs	16-44	14-59	284-581	273-780
Liden Andemad	7-44	7-54	6-40	7-50
Mærke	1-4	3-6	8-32	21-40
Vandstjerne	0,3-23	0,1-32	0,4-38	0,1-53
Trådalger	0,7-26	0-11	0,6-21	0-9

Tabel 18 Dækning og tørvægt af de 5 hyppigst forekommende planter i plantelagunen ved Nørå Dambrug i perioden september 2005 til september 2007

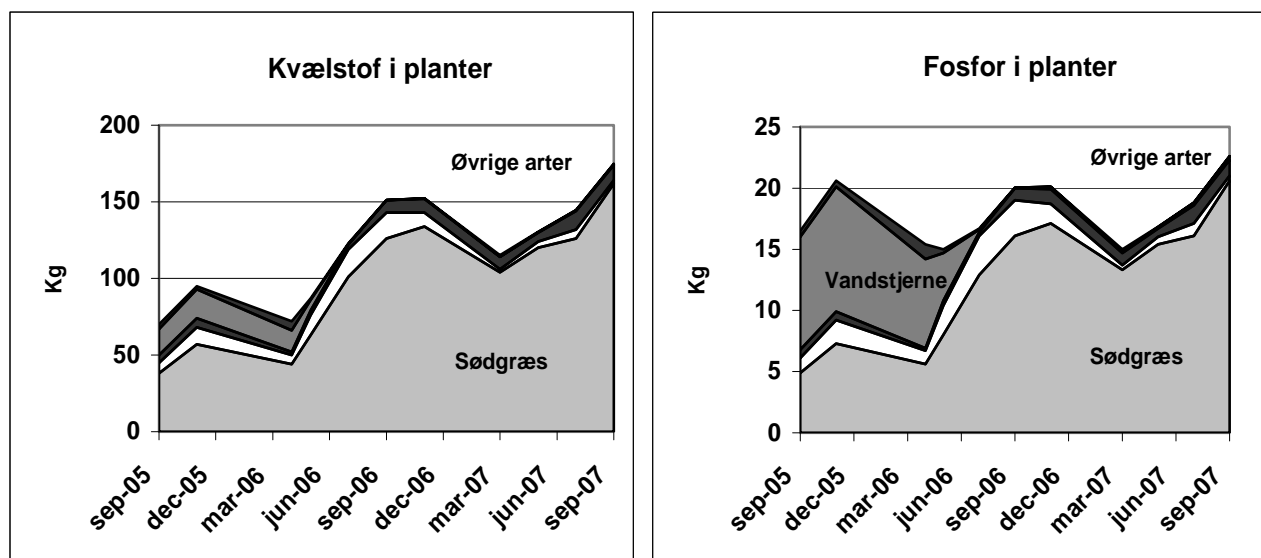
	Tørvægt		Kvælstof		Fosfor	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Hele anlægget (kg)	1833	5236	70	175	15	23
Gram pr. m ²	273	780	10	26	2,2	3,4

Tabel 19 De minimale og maksimale værdier af planternes tørvægt samt indhold af kvælstof og fosfor for plantelagunen ved Nørå Dambrug i perioden september 2005 til september 2007. Den minimale og maksimale tørvægt af de 5 dominerende plantearter samt planternes indhold af kvælstof og fosfor er endvidere angivet pr. m² for plantelagunen som helhed

Den samlede kvælstofmængde i plantelagunen øges fra 70 kg kvælstof i september 2005 til 175 kg i 2007, svarende til en stigning fra 10 gram kvælstof pr. m² til 26 gram pr. m² gennem perioden (tabel 19). Andelen af kvælstof bundet i Sødgræs øges gennem perioden fra 54 % til 93 %.

Fosfor i de dominerende plantearter i plantelagunen øges gennem undersøgelsesperioden fra godt 15 kg til 23 kg, svarende til en stigning fra 2,2 gram pr. m² til 3,4 gram pr. m² (tabel 19). Set over undersøgelsesperioden som helhed udgør fosfor bundet i Sødgræs hovedparten af den samlede fosformængde bundet i planterne. Ved de tre første prøvetagninger i efteråret 2005 og foråret 2006 er størstedelen af den samlede fos-

formængde imidlertid bundet i Vandstjerne (figur 30). Årsagen til dette, til trods for væsentlig mindre tørvægt af Vandstjerne end Sødgræs (figur 29), er, at indholdet af fosfor er næsten 7 gange større i Vandstjerne end i Sødgræs (tabel 17). Hen gennem undersøgelsesperioden stiger andelen af fosfor bundet i Sødgræs fra 30 % til 91 % (figur 30) i takt med dominans af Sødgræs.



Figur 30 Kvælstof og fosfor bundet i plantebiomassen i de fire dominerende plantearter i plantelagunen på Nørå Dambrug gennem de to måleår.

12 Diskussion

Indledning

I dette kapitel er der en diskussion af nogle væsentlige problemstillinger vedrørende måleresultaterne for andet måleår ved Nørå Dambrug, som supplerer de enkelte kapitler i statusrapporten. Endvidere foretages der nogle sammenligninger med hovedresultater fra første måleår, således at de overordnede resultater for hele den toårige forsøgsperiode ved dambruget vurderes og diskuteres. Hvor det er fagligt muligt drages konklusioner ift. resultaterne for Nørå Dambrug. Hermed kan og bør denne status rapport for andet måleår også anvendes som samlet rapportering for de væsentligste resultater for de to måleår under forsøgsordningen for Nørå Dambrug.

Det er dog ikke hensigten i statusrapporten at gå i dybden for alle resultater for dambruget, dette er foretaget i den faglige samlerapport for de otte modeldambrug (*Svendsen et al., 2008*). Tilsvarende sker sammenligning med resultaterne fra de andre modeldambrug under forsøgsordningen også kun i den faglige samlerapport, som indeholder tværgående analyser og overordnede generelle konklusioner og faglige anbefalinger for hele måle- og dokumentationsprojektet.

Første måleår på Nørå Dambrug omfatter 6. september 2005 til 5. september 2006 og andet måleår 6. september 2006 til 5. september 2007. I forhold til første måleår er der sket en genberegning af produktionsbidraget, som betyder at de beregnede rensegrader, der er relateret til produktionsbidraget, er blevet justeret ift. første års statusrapport (*Svendsen et al., 2007*).

Nørå Dambrug har haft nogle problemstillinger, der gør at visse af resultaterne fra især første måleår har en vis usikkerhed. Der er ikke i tilstrækkeligt omfang registreret vedrørende fisk og foder år 2 så foderkvotienten må estimeres hvilket betyder at det beregnede produktionsbidrag er behæftet med en lille usikkerhed. Vandflowet i produktionsanlægget er 1-2 måneder inde i år 1 ændret, så det bliver fælles mellem produktionsenheden og sættefiskeanlæg + leveredamme grundet problemer med at stabilisere driften. År 1 er der ret stor usikkerhed på opgjorte afledte slammængder fra slambassinet, hvilket afhjælpes inden år 2, da der grundet for lav kapacitet udvides fra 2 til 3 slambassiner i april 2006 (år 1) og monteres større afløbsrør fra slambassinerne. Større mængde døde fisk år 2 (maj 2007) grundet oplyste, høje nitrit koncentrationer og flere driftsproblemer år 2 med højere dødelighed og en periode med lav appetit hos fiskene som medfører højere foderkvotient år 2. Registrering af returskylning af biofiltre og tømning af slamkegler har ikke passet helt overnes med de kontinuerede registreringer, hvilket år 2 betyder at den beregnede tilførte mængde stof til slambassinerne ser ud til at blive underestimeret. Der er et relativt stort vandtab over plantelagunerne år 1 (33 %), som reduceres til 23 % år 2.

Det skal dog samtidigt understreges, at uanset de nævnte problemstillinger er massebalancen over produktionsanlægget og over plantelagu-

nen og over hele dambruget ret sikkert bestemt, således at samlede rensegrader, stoffjernelsen over hele produktionsanlægget og over plantelagunen og stofudledning pr. kg fisk kun har en mindre usikkerhed. Problemerne relateres til hvor meget biofiltre, slamkegler, mikrosigter og intern omsætning i produktionsanlægget hver især har bidraget (summen af bidragene er ret sikkert fastlagt), den procentuelle stoffjernelse over slambassinerne, og om hvor meget at det stof der følger med vandtabet over plantelagunen som når vandløb/havet eller reelt er tilbageholdt/omsat. Input til og output fra henholdsvis produktionsanlæg og plantelagune er målt/beregnet specifikt hver for sig, ud over at der er målt på de enkelte renseforanstaltninger.

Generelle driftsforhold

Nørå Dambrug har foretaget et par mindre indretningsmæssige ændringer. Efter nogle få måneders drift år 1 ændres vandflowet så det ikke længere holdes adskilt mellem sættefiskeanlæg + leveredamme og produktionsenheden, men alt vand ledes efterfølgende igennem biofiltret i produktionsenheden for at optimere rensning og stabilisere driftsforholdene. I april 2006 (år 1) ændres måleprogrammet så det tilpasses de nye flowforhold, således at der ikke længere opgøres rensegrader og massebalancer separat for sættefiskeanlæg + leveredamme og for produktionsenheden, men for hele produktionsanlægget under et. Det indledende måleprogram var dog indrettet således, at der kan foretages ensartede opgørelser og beregninger for hele måleperioden. I april 2006 erkendes, at kapaciteten i de 2 slambassinerne er for lille og medfører reduceret netto stoftilbageholdelse over disse. Der etableres derfor et tredje slambassin, som øger kapaciteten.

Det skal bemærkes, at anlægget relativt hurtigt besættes med en større fiskebestand. Der er registret et større driftsuheld i maj 2007 (år 2), hvor ca. 12 tons fisk dør som følge af meget høje nitrit-koncentrationer i anlægget. Der har år 2 været flere perioder med høj dødelighed og nedsat appetit end år 1.

I en periode forekom foderet at resultere i dårligt sammenhængende fækalier, hvilket har indflydelse dels på den generelle vandkvalitet, dels på renseforanstaltningernes effekt.

Såvel foderforbruget, produktionen som vandindtaget er noget højere år 2, mens vandtabet over plantelagunerne er mindre, hvilket skal tages i betragtning ved fortolkning og sammenligning af resultater for de to måleår.

Vandforbrug, -flow og opholdstid

Der er i gennemsnit indtaget henholdsvis 37,1 l/s (år 1) og 42,5 l/s (år 2) eller henholdsvis 81 % og 93 % af det tilladte vandindtag til Nørå Dambrug. Det interne flow (recirkulationsflowet) i produktionsenheden blev målt i de første 8 måneder af år 1 til at variere mellem 400 og 700 l/s. Det svarer til en recirkulationsgrad på 91 til 95 % år 2, hvor der for modeldambrug type III er forudsat 95 %.

Vandforbruget er med henholdsvis ca. 3.400 l og 3.250 l vand pr. kg produceret fisk i de to måleår reduceret med en faktor ca. 15 sammenlignet

med gennemsnittet for traditionelle gennemstrømningsanlæg. Sammenlignet med tidligere tilladt vandindtag til dambruget er reduktionen en faktor 9 i år 1 og 8 i år 2.

I år 1 tilføres plantelagunen på Nørå Dambrug i gennemsnit 36,7 l/s mens der fra plantelagunen til Grindsted Å måles et udløb på 24,5 l/s, dvs. der er et nettovandtab over plantelagunen på ca. 33 % af vandtilførslen hertil. I år 2 tilføres 42,3 l/s til plantelagunen og der måles i udløbet til Grindsted Å 32,6 l/s, dvs. et tab der kun er 2,5 l/s lavere end år 1, men som procentuelt kun er på 23 % af vandtilførslen. Der er ikke noget vandtab over produktionsanlægget. Det forekommer sandsynligt, at der i begge måleår derfor er et vist vandtab ved udsivning gennem plantelagunens bund, idet sedimentet i ådalen er præget af sand og grus. Der er endvidere konstateret en periode med gennemsivning mellem den gamle brink, der adskiller afløbet fra dambruget fra Grindsted Å og en mindre utæthed ved et gammelt bygværk med afløb nedstrøms det egentlige udløb fra dambruget, men omfanget heraf er ret beskedent. Det vurderes således, at hovedparten af vandtabet skyldes udsivning gennem plantelagunens bund.

Mod 2. måleårs slutning mindskes det absolutte vandtab over plantelagunen. Det kan forventes, at der sker en vis reduktion i infiltrationskapaciteten, når der ophobes fine partikler i den øvre del af sand- og grusaflejringerne under plantelagunen, således at denne med tiden får et reduceret stoftab ud af bund og sider. År 2 er væsentligt mere nedbørslrig hvilket især i vinterhalvåret kan give en højere grundvandsstand i ådalen som alt andet lige reducere udsivningspotentiallet fra plantelagunen.

Med det nedsivende vand kan der følge opløste næringsstoffer (nitrat, nitrit og ammonium-kvælstof, opløst fosfor, opløst organisk stof) og meget små partikler. Stofferne i det nedsivende vand kan omsættes eller bindes i jorden, noget kan nå grundvandet, noget kan genindvindes via dræn og borer og noget kan evt. nå frem til Grindsted Å eller på sigt sive til havet. Det vil kræve en kortlægning af grundvandsbevægelserne under og omkring dambruget og af stofomsætning i den umættede zone omkring og under dambruget for at kvantificere de forskellige processer.

Ved beregningerne af stofomsætning/stoftilbageholdelse i plantelagunen vil denne i en eller anden grad blive overestimeret for de opløste stoffer, hvis der har været stoftab sammen med det omtalte vandtab. Der er derfor for nogle at beregningerne søgt taget højde for vandtabet for at give et absolut "worst case" scenarie estimat. Med det relativt store vandtab, der er målt over plantelagunen ved Nørå Dambrug år 1 vil det påvirke resultaterne noget sammenlignet med de målte resultater for f.eks. udledninger i afløbet fra dambruget. Det skal dog understreges, at ud over med de direkte udledninger til Grindsted Å som er forekommet i mindre omfang må det forventes, at meget af det opløste/meget fin partikulære stof, der følger med nedsivningsvandet omsættes/bindes i den umættede zone eller i grundvandet eller genindvindes som indtagvand til produktionen frem for at nå frem til Grindsted Å eller fjernrecipienten. De reelle stoftab pr. kg fisk, rensegrader over plantelagunen m.v. vil ligge mellem worst case scenariet og de værdier, der er beregnet ud fra målingerne, men tættest på sidstnævnte. I den faglige samlerapport (*Svendsen et al., 2008*) er der på tværs af dambrugene givet en vurde-

ring af betydningen af stoftab med nedsivningsvandet for de beregnede rensesgrader og for stoftabet.

Opholdstiden i produktionsanlægget inkl. slambassiner har i gennemsnit været ca. 27 timer (år 1) og ca. 24 timer (år 2). *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* forudsætter en opholdstid på mindst 18,5 timer i produktionsanlægget. Den samlede opholdstid over dambruget har været henholdsvis 77 timer (år 1) og 67 timer (år 2), dvs. ca. 3 døgn, hvorfor man kan forvente at en ganske stor del af det let omsættelige organiske stof (BI₅) når at blive omsat på dambruget (*Fjorback et al., 2003*).

Plantelaguner

Plantelagunerne består af 23 plantefyldte jorddamme og bassiner og 375 m kanaler (gamle for- og bagkanaler m.v.) eller i alt godt 6.700 m². De er forbundne som et mæanderende vandløb og en enkelt mindre sølagune, hvor vand fra produktionsanlægget og klaringsvandet fra slambassinerne tilføres opstrøms, således at alt vand skal passere igennem stor set alle jorddamme og kanaler før afløb til Grindsted Å.

Den hydrauliske belastning af plantelagunerne på henholdsvis 0,005 (år 1) og 0,006 (år 2) l s⁻¹ m⁻² er ca. en fjerdel af den forudsatte maksimalt tiladte belastning (*Bekendtgørelse om modeldambrug, 2002*). Der vurderes således ikke at være noget problem ift. til hovedparten af de omsætningsprocesser, der sker i plantelagunen og den længere opholdstid vil kunne øge sedimentation af partikler. Opholdstiden i plantelagunen er i gennemsnit 42 timer år 1 mod i gennemsnit 36 timer år 2. Opholdstiden er relativ høj sammenlignet med de fleste af de øvrige syv modeldambrug under forsøgsordningen (*Svendsen et al., 2008*).

Fra begyndelsen af måleperioden er der en del plantevækst i plantelagunen og der har ikke på noget tidspunkt været målt under 50 % samlet dækningsgrad. Der har overordnet været målt en svagt stigende dækningsgrad gennem de to måleår, med lavere værdi i vinterperioden og de højeste i det tidlige efterår. Der er registreret 24 plantearter, hvoraf kun 5 arter kvantitativt har betydning. Gennem måleperioden bliver Manna Sødgræs langt den dominerende plante og når i efteråret 2007 (slut år 2) en dækningsgrad på 60 %. De andre betydende forekomne arter er i betydende dækningsgradsrækkefølge Liden Andemad, Vandstjerne, Smalbladet Mærke og trådalger (kun år1).

Tørvægtsmæssigt dominerer Sødgræs begge måleår, hvor den udgør mindst 95 % af den samlede tørvægt af planterne. De milde vintre betyder, at en stor del Sødgræs overlever vinterperioden. Tørvægten af Sødgræs ligger igennem måleperioden på 284-780 g pr. m² hvor ingen af de øvrige plantearter når mere end ca. 50 g pr. m². Den samlede plantemængde i plantelagunen er på mellem ca. 1.850 og 5.250 kg.

Baseret på bestemmelse af indholdet af kvælstof og fosfor i de fem mest udbredte plantearter er det beregnet, at på det tidspunkt hvor biomassen er størst i plantelagunen (september 2007), har planterne akkumuleret ca. 175 kg kvælstof (ca. 26 g N pr. m²) og knap 26 kg fosfor (3,4 g P pr. m²), hvor hovedparten er bundet i Sødgræs. Senere i dette kapitel sammenholdes disse tal med den samlede fjernelse/tilbageholdelse af kvælstof og fosfor i plantelagunen for at kvantificere planternes betydning for

selve massebalancen, men betydningen er beskeden for den samlede stoffjernelse på Nørå Dambrug. Det skal dog erindres, at planterne herudover skaber muligheder for de organismer, der omsætter bl.a. nitrat, ligesom planterne er med til at tilbageholde partikler og stabilisere aflejret materiale i bunden af plantelagunen.

Iltmålinger opstrøms, midt mellem opstrøms og nedstrøms del af plantelagunen (få centimeter under vandoverfladen) viser, at iltmængden er lav allerede i den midterste del af plantelagunen. En screening viser, at iltmængden er halveret ca. 40 m nedstrøms i plantelagunen og i det meste af plantelagunen er på under ca. 2 mg/l selv tæt under vandoverfladen. Iltmåling i et dybdeprofil opstrøms i plantelagunen indikerer, at ilten her først er brugt op nogle få centimeter over bunden af plantelagunen. Der er således områder med både ilt og større dele med kun lidt ilt/iltfri forhold i plantelagunen. Det bør være en fordel for omsætningsprocesserne, da der er ilt til omsætning af f.eks. ammonium kvælstof og organisk stof, mens der i iltfrie områder kan foregå denitrifikation. Der er ikke undersøgt flowforhold i plantelagunen, men med den udbredte plantevækst i stort set alle gamle jorddamme og i kanalerne kan det umiddelbart antages at relativ stor del af vandvoluminet anvendes i omsætnings- og sedimentationsprocesserne, selv om der tilsyneladende også er nogle "lommer" med mere beskeden vandudskiftning.

Iltkoncentrationerne er over de to måleår svagt faldende, hvilket afspejler forholdene i produktionsanlægget, som plantelagunen modtager vandet fra. Iltkoncentrationerne er lavest i sommerhalvåret og højest om vinteren, pH ligger typisk på 6,4 til 7,1, lavest om sommeren hvor der antages at være højere stofomsætning og dermed CO₂-dannelse.

Foder og produktionsbidrag

I år 1 har Nørå Dambrug med anvendelse af 296,5 tons foder en produktion på 342,4 tons fisk (inkl. døde) i produktionsanlægget og opnået en pæn foderkvotient på 0,866. I år 2 anvendes 377,6 tons foder og der er beregnet en produktion på 410,5 tons fisk. Foderkvotienten er estimeret ud fra dambrugets udregninger, produceret fiskestørrelse, anvendte fodertype og driftsforhold på dambruget, da dataindrapporteringen ikke blev ajourført regelmæssigt. Foderkvotienten er skønnet til 0,92. Den årlige tilladte fodermængde er på 350 tons. Som omtalt tidligere har der været visse driftsproblemer, dels med tilstrækkelig renseeffekt af biofiltret i begyndelsen af år 1, hvorefter vandflowet blev ændret og gjort fælles mellem produktionsenheden og sættefiskeanlæg + leveredamme, dels grundet meget høje nitrit-koncentrationen i maj 2007 (år 2) som gav tab af 12 tons fisk. I år 2 var der generelt større dødelighed og flere perioder med lav appetit hos fiskene og udfodringen var noget lavere i sommeren år 2 end sommeren år 1. Derfor har foderkvotienten år 2 ikke været optimal og må forventes med yderligere driftserfaring at blive som år 1 eller bedre fremover.

Produktionsbidraget for første år er genberegnet, da det gennemsnitlige indhold af kvælstof og fosfor i regnbueørred er blevet revideret ud fra resultater og litteraturstudier. Der anvendes nu lidt lavere værdier end anvendt i Dambrugsbekendtgørelsen, idet der er regnet med 2,75 % kvælstof af fiskens totale vådvægt for hel fisk på 300-1.000 gram (mod hidtil anvendt 3 %) og tilsvarende for fosfor 0,43 % mod hidtil 0,5 % (se

Svendsen et al., 2008). Justeringerne giver en mindre stigning i produktionsbidraget ift. de oprindeligt opgivne værdier i rapporten for første måleår (*Svendsen et al., 2007*), hvilket også betyder, at de beregnede rensegrader dermed stiger lidt.

Endvidere er produktionsbidraget for organisk stof (BI_5 og COD) også opjusteret ift. rapporteringen af resultaterne fra første måleår. Nye undersøgelser, foretaget på de mest anvendte fodertyper, af det stofbidrag/-tab, der sker direkte til vandfasen som opløst eller finpartikulært og derfor ikke indgår i den partikulære fækaliedel, har vist, at der oveni tabet med bundfældeligt/partikulært stof (fækali) skal tillægges 43,5 % som mål for bidraget som opløst/finpartikulært stof.

Produktionsbidraget, der er baseret på foderanalyser af de fleste batches og fordøjelighedsforsøg på en række af de mest anvendte fodertyper, er beregnet for ammonium-kvælstof, total-kvælstof, total fosfor, BI_5 og COD. Der er også beregnet produktionsbidrag i forbindelse med levering.

Der er gennem et døgn foretaget konkrete målinger af foderspild på Nørå Dambrug og som ved de andre undersøgte modeldambrug er der ikke fundet noget foderspild. Der forventes ikke under normale driftsforhold at være foderspild, men i forbindelse med drifts- og sygdomsproblemer, der medfører nedsat appetit er der høj sandsynlighed et foderspild. Der er anvendt samme foderspild som på andre dambrug, hvor det er sat til 1 % for tab med støv og smuld og et antaget, mindre spild f.eks. ved unormale driftsforhold. Dette vurderes normalt at være et højt estimat, men vil formentlig ikke være det på Nørå Dambrug med de beskrevne driftsbetingelser in mente.

Men den dårligere foderkvotient år 2 følger, at produktionsbidraget bliver højere end år 1, 3-8 % højere pr. tons foder og 10-15 % i kg pr. tons produceret fisk for alle kemiske parametre på nær total fosfor. Her er den faldet 22 % i kg pr. tons foder og 16 % i kg pr. tons fisk, hvilket kan tilskrives brug af et andet foder år 2 og en fodersammensætning med et lavere fosforindhold.

Produktionsbidraget er som forventet hovedkilden for stoftilførsel til dambruget, idet stoftilførsel år 2 med indtagsvandet kun udgør 1-4 % for ammonium kvælstof, total fosfor og BI_5 og 10 % for COD, men 31 % for total kvælstof af den samlede stoftilførsel til Nørå Dambrug. For total kvælstof er det relativt høje nitrat kvælstof koncentrationer i indtagsvandet på 3-4 mg/l, der er årsagen til at dette input får en relativ stor betydning. I år 1 udgjorde vandindtaget 28 % for total kvælstof.

Stofkoncentrationer

Stofkoncentration i produktionsanlægget

Ved vurdering af udvikling i stofkoncentrationerne i afløb fra produktionsanlægget, klaringsvandet fra slambassiner og i afløbet fra dambruget spiller flere faktorer ind:

- ændret vandflow 1-2 måneder inde i år 1 så det bliver fælles mellem produktionsenheden og sættefiskeanlæg + leveredamme for at stabilisere driften

- grundet for lav kapacitet udvides antal slambassiner fra 2 til 3 i april 2006 (år 1). I år 1 problemer større usikkerheder på de opgjorte slammængder
- 12 tons døde fisk år 2 (maj 2007) grundet oplyste høje nitrit koncentrationer og flere driftsproblemer år 2 med højere dødelighed og periode med lav appetit hos fiskene, som medfører højere foderkvotient år 2
- I en periode forekom foderet at resultere i dårligt sammenhængende fækallier med indflydelse på den generelle vandkvalitet og på renseforanstaltningernes effekt
- Anvendelse af 27 % mere foder år 2
- Indtag af 15 % mere friskvand år 2
- Vandtab over plantelagunen reduceres fra 33 % år 1 til 23 % år 2 og opholdstiden heri falder fra 42 til 36 timer

Gennemsnitskoncentrationer

De klart højeste gennemsnitskoncentrationer og største variationer heri måles i slamperkulat ved tømning af slamkeglerne på nær for nitrit-nitrat kvælstof. Næsthøjeste gennemsnitskoncentrationer måles i skyllevandet fra biofiltrene (faktor 10 eller mere lavere), men som igen er en faktor 20-70 højere end gennemsnitskoncentrationen i afløbet fra produktionsanlægget for alle stoffer på nær nitrat-nitrit kvælstof. Gennemsnitskoncentrationen i spulevandet fra mikrosigten er 10-20 % lavere for opløst kvælstof og fosfor og en faktor 2-3 for øvrige stoffer på nær nitrat-nitrit kvælstof end i skyllevandet fra biofiltrene. Til gengæld er nitrat-nitrit gennemsnitskoncentrationen ret ens i de forskellige målepunkter men dog lavest i slamperkulat fra slamkegler og højest i afløbet fra produktionsanlægget. Endelig er der også ret høje gennemsnitskoncentrationer i klaringsvandet fra slambassinerne, som er lidt lavere (dog det halve for BI_5) end de tilsvarende koncentrationer i skyllevandet fra mikrosigterne, dog undtagen ammonium kvælstof og total kvælstof. Sidstnævnte indikerer en omfattende denitrifikation i slamtanken samt også en dissimilatorisk nitrat reduktion (hvor nitrat reduceres til ammonium) grundet stærkt iltfattige forhold. Endvidere kan ammonificering (omsætning af organisk kvælstof til ammonium kvælstof) også bidrage hertil.

I afløbet fra dambruget er koncentrationerne for de fleste kemiske variable højere år 2: suspenderet stof 45 %, ammonium kvælstof 175 %, total kvælstof 24 %, total fosfor 25 %, BI_5 16 % og COD 9 %. Til gengæld er gennemsnitskoncentrationen af nitrit-nitrat faldet med 8 % og opløst fosfor med 50 %. Rensegraderne år 1 er da også højere end i år 2 for alle stoffer, hvor foderforbruget er øget med 27 %, foderkvotienten er større mens mængden af indtagsvand kun er øget med 15 %, samtidigt reducerer opholdstiden i plantelagunen med 6 timer.

Koncentrationsforløb over måleperioden

I afløbet fra produktionsanlægget (nedstrøms biofilter) er koncentrationen af ammonium kvælstof lav (0,5-1,5 mg/l) med få undtagelser år 1 og frem til december 2006 (år 2). Herefter er der i en periode (december 2006 - april 2007) hvor der tilsyneladende er problemer med nitrifikationen i

biofiltre, da ammonium kvælstof koncentrationer stiger brat fra under 1 mg/l til 5-6 og senere 12 mg/l i afløbet fra produktionsanlægget, hvilket der ikke umiddelbart er givet en årsag til. Fra slutningen af april falder koncentrationen igen til ca. 1 mg/l. Umiddelbart efter perioden med høje ammonium kvælstof koncentrationer dør 12 tons fisk ifølge det oplyste grundet høje nitritkoncentrationer (nitrat-nitrat stiger brat i maj 2007 fra 6 mg/l til 16 mg/l). Resultatet er, at i år 2 er ammonium kvælstof tilførslen fra produktionsanlægget (uden klaringsvand) næsten tre gange større end i år 1 (ca. 1.000 kg år 1 mod ca. 2.600 kg år 2), mens tilførslen via klaringsvand kun stiger 30 % (fra 1.240 kg til 1.680 kg). Trods højere ammonium kvælstof koncentrationer i afløbet fra produktionsanlægget i den omtalte periode af år 2 er omsætningen heraf i produktionsanlægget større end i år 1. Inputtet er i år 2 hele 38 % større. Omsætningen af ammonium i produktionsanlæg (dvs. reelt i biofiltret) er opgjort til 8.600 kg år 1 og 10.450 kg år 2 (+ 22 %) og nitrifikationsraten er steget fra 0,13 g m² pr. dag til 0,16 g pr. m² pr dag.

BI₅ koncentrationen er ret konstant begge måleår (2-5 mg/l) med nogle få koncentrationstoppe på 10-16 mg/l. Udledningen fra produktionsanlægget (uden klaringsvand) er år 2 steget 51 % eller i mængder ca. 2.050 kg men samtidigt er der tilført 31 % mere BI₅ år 2 (mængde: 9.000 kg) til produktionsanlægget. En del af det ekstra BI₅ der er tilført år 2 til produktionsanlægget må være omsat heri, primært i biofiltret, eller omsat/akkumuleret i anlægget, da der med slamvand fra slamkegler + spulevand fra mikrosigter + returskyllning fra biofiltre fjernes væsentligt mindre BI₅ år 2 (hele 8.500 kg – se senere).

COD har samme koncentrationsniveau i de to måleår i udløbet fra produktionsanlægget men med variationer. I gennemsnit er COD koncentrationen 4,5 gange højere end BI₅. Det tilsvarende forhold i inputtet til produktionsanlægget er 3,1, så renseforanstaltningerne fjerner/omsætter relativt mest let omsætteligt organisk stof.

Koncentrationen af total kvælstof i afløbet fra produktionsanlægget er relativt konstant ca. 7-17 mg/l med tendens til de højeste koncentrationer om sommeren/tidligt efterår, hvor udfodringen også er størst. Langt hovedparten af total kvælstof (over 90 %) er på nitrit-nitrat form undtagen i førnævnte periode med høje ammonium koncentrationer, hvor nitrit-nitrat koncentrationen falder tilsvarende, understregende nedsat nitrifikation.

I afløbet fra produktionsenheden er koncentrationsudviklingen for total fosfor ens de to måleår med de højeste koncentrationer om sommeren/tidlige efterår sammenfaldende med høj udfodring. Opløst fosfor udgør år 2 i gennemsnit 38 % af total fosfor, men andelen varierer en del over måleperioden. Trods 27 % højere foderforbrug år 2 er tilførslen til produktionsanlægget den samme begge år (ca. 1.750 kg), hvorfor lavere fosforindhold ses at betyde et mindre tab af især opløst fosfor.

Stofkoncentrationer i klaringsvandet

Koncentrationerne i klaringsvandet er meget domineret af, at der i en periode år 1 (februar – marts 2006) ses en voldsom stigning i koncentrationen af samtlige stoffer med koncentrationsstigninger fra en faktor 17 (total kvælstof) til en faktor 150 (COD), hvor total kvælstof når ca. 400 mg/l, total fosfor ca. 130 mg/l, BI₅ ca. 4.000 mg/l, COD ca. 10.000 mg/l

og suspenderet stof ca. 9.200 mg/l. I den resterende periode er koncentrationsvariationerne beskedne. De ekstremt høje koncentrationer i februar – marts 2006 kommer i forbindelse med at slambassinerne er fyldt op, og hvor der tilsyneladende sker mere eller mindre direkte afløb af tilført slamperkulat videre til plantelagunerne samt at der spildes slam med meget høje koncentrationer ved en efterfølgende delvis tømning og etablering af et ekstra slambassin. Denne ret korte periode med meget høje koncentrationer udgør en stor del af tilførslerne med klaringsvand år 1, hvor der også beregnes langt lavere rensegrader af f.eks. organisk stof og total fosfor end i år 2 (se senere).

Med den øgede kapacitet i slambassinerne stabiliseres koncentrationerne i udledningerne, men kapaciteten er stadig ikke tilstrækkelig til at slamperkulatet kan blive klaret inden klaringsvand afledes til plantelagunen. År 2 er tilførslen til slambassinerne af total fosfor og organisk stof lavere end år 1 trods større produktionsbidrag, da produktionsanlæggets rensesforanstaltninger er mindre effektive overfor disse stoffer år 2 (se senere).

Stofkoncentrationer i afløbet fra dambruget og i indtagsvandet

Koncentrationsudviklingen i udløbsvandet følger overordnet de tilsvarende indløbskoncentrationer ret tæt. Således kan de meget høje koncentrationer af ammonium kvælstof fra december 2006 til april 2007 og nitrit-nitrat koncentrationstoppen i maj 2007 tydeligt erkendes i afløbet fra dambruget. De ekstremt høje koncentrationer i klaringsvandet slår ikke så tydeligt igennem i afløbet, dels da stofmængderne ikke er så store (lille vandmængde), dels da det primært er partikulært bundet materiale, som kan aflejres i plantelagunen. I afløbet fra dambruget er forholdet COD og BI₅ begge måleår ca. 7 mod 3,1 i input. Det er således tydeligt, at hen over dambruget omsættes/fjernes fortrinsvis letomsætteligt organisk stof (BI₅).

Koncentrationerne i indtagsvandet varierer typisk lidt i løbet af hver af de to måleår, men der er ikke forskel på koncentrationerne på nær for total fosfor, hvor koncentrationen er næsten dobbelt så høj år 2. Endvidere varierer koncentrationen af COD og suspenderet stof en del fra prøvetagning til prøvetagning og mere end de tilsvarende koncentrationer i udløbet. Koncentrationerne af de fleste stoffer er lavere end udløbskoncentrationerne, især for ammonium kvælstof og opløst fosfor, dog er koncentrationen i indtagsvandet af suspenderet stof i mange tilfælde højere og tilsvarende er koncentrationen af nitrit-nitrat kvælstof med et niveau på 3-4 mg/l i perioder på niveau med koncentrationen i afløbet. Total kvælstof, total fosfor og organisk stof ligger med en gennemsnitskoncentration på 30 til 50 % af den i afløbet fra dambruget.

Stofudledning pr kg produceret fisk

Det målte nettostoftab i g pr. kg produceret fisk har for ammonium kvælstof været henholdsvis 2,5 (år 1) og 8,1 (år 2) og for total kvælstof henholdsvis 7,1 og 13 (tabel 20) (fraset ammonium er tallet hhv. 4,6 og 4,9), hvilket for år 2 er ca. en faktor 2 højere end fundet ved Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*). Der er en forøgelse af stofudledningen pr. kg produceret fisk fra år 1 til år 2 for både ammonium og total kvælstof (faktor knap 2), således at udledningen af nitrit-nitrat kvælstof og organisk kvælstof er næsten den samme begge år, knap 5 g pr. kg fisk.

Den store stigning i tabet af ammonium kvælstof kan både forklares ved, at der i perioden december 2006 til april 2007 (år 2) var en stærkt reduceret nitrifikation i biofiltret, som fik ammonium kvælstof koncentrationen i produktionsanlægget til at stige til 6-12 mg/l, perioder med fiskedød og reduceret appetit hos fiskene, et øget foderforbrug år 2 og i et reduceret vandtab over plantelagunen. Trods den reducerede nitrifikation i en periode af år 2 har biofiltret nitrificeret ca. 10.400 kg år 2 mod ca. 8.600 kg år 1, men tilførslen til biofiltret har også været større år 2 (samlet input 38 % højere). Ammonium omsættes typisk til nitrat og plantelagunen tilføres 19 % (1.850 kg) mere nitrit-nitrat kvælstof år 2, men også 91 % (2.050 kg) mere ammonium kvælstof. En del af den ekstra nitrat der tilføres år 2 omsættes i plantelagunen idet omsætningen pr. arealenhed plantelagune stiger. Til gengæld omsættes/tabes der mindre ammonium kvælstof pr. arealenhed. Samlet ender det med det større tab af total kvælstof pr. kg. fisk i år 2.

Nettostoftabet for total fosfor på henholdsvis 0,13 kg år 1 og 0,19 kg år 2 pr. kg produceret fisk og tilsvarende for BI_5 på 1,9 kg år 1 og 4,1 kg år 2 er i år 2 en faktor 10 og for BI_5 en faktor 5-7 mindre end de målte stoftab på Døstrup Dambrug. Tilførslen til plantelagunerne af total fosfor og BI_5 er i år 2 trods højere foderforbrug henholdsvis 47 % og 55 % lavere end i år 1 og der er især tilført mindre partikulært fosfor. Selv med den lavere tilførsel til plantelagunen bliver netto tabet pr. kg produceret fisk større, fordi tilbageholdelsen/omsætningen i plantelagunen falder meget; fra 0,32 (år 1) til 0,13 (år 2) g P pr. m^2 pr. dag og tilsvarende værdi for BI_5 fra 7,9 til 2,7 g BI_5 pr m^2 pr dag (dette vurderes senere i kapitel 12 under "stoffjernelse i plantelagunen").

Ifølge Miljøstyrelsens opgørelser for ferskvandsdambrug udledtes der i 2003 3.098 t BI_5 , 1.119 t total-N og 90 t total-P ved en produktion på 29.434 t ørreder, mens der ifølge den seneste opgørelse (inklusive de etablerede modeldambrug type 1 & 3) i 2007 udledtes 2.343 t BI_5 , 673 t total kvælstof og 60 t total fosfor ved en produktion på 27.843 t ørreder og forbrug af 25.710 t foder (*By- og Landskabsstyrelsen, 2009*). Tallene svarer til gennemsnitlige specifikke udledninger, som angivet i nedenstående tabel, hvor 2003-tallene er medtaget for at give sammenligningsgrundlag med forholdene inden Modeldambrugsetablering og med tidligere rapporter og 2007-tallene er alene medtaget for at kunne sammenholde med de nyeste tal. Af tallene kan beregnes gennemsnitlige specifikke udledninger til sammenligning med hvad der er fundet på Nørå Dambrug (tabel 20).

	Specifik udledning – netto (kg/t fisk produceret)			Nørå Dambrug i % af gennemsnit DK	
	Gennemsnit	Nørå Dambrug	Nørå Dambrug	År 1	År 2
	Danmark	- 1. måleår	- 2. måleår		
Organisk stof (BI ₅)					
-2003	105,3			2	4
-2007	84	1,9	4,1	2	5
Total-N					
-2003	38,0			19	34
-2007	24	7,1	13	30	54
Total-P					
-2003	3,1			4	6
-2007	2,2	0,13	0,19	6	9

Tabel 20 Specifikke udledninger pr. kg produceret fisk som gennemsnit for ferskvandsdambrug i Danmarks (i 2003 og 2007) og tilsvarende målte, specifikke udledninger for Nørå Dambrug i første og andet måleår. I sidste kolonne er de specifikke udledninger fra Nørå Dambrug angivet i procent af gennemsnittet for Danmark

Nørå Dambrug har begge måleår meget markant reducerede specifikke udledninger af organisk stof og total fosfor på under 1/10 af gennemsnittet for Danmark. For total kvælstof er udledningen år 2 ca. en tredjedel af gennemsnittet for ferskvandsdambrugene i 2003 (ca. halvdelen af gennemsnittet i 2007), men kan alligevel ikke overholde udlederkravet for total kvælstof.

Ved det opstillede worst case scenarie, som anses for fagligt urealistisk at anvende (hvor det antages at alt nedsivende vand fra over plantelagunen i stedet udledes direkte i Grindsted Å med de opløste stoffers indløbskoncentration til plantelagunen helt uden tilbageholdelse/omsætning), bliver de specifikke udledninger lidt større, men selv ved worst case scenariet er den specifikke udledning pr. kg fisk for alle tre stoffer meget lavere end gennemsnittet for ferskvandsdambrugene i 2003 og også meget (total fosfor og BI₅) men dog kun lidt lavere for total kvælstof end det tilsvarende gennemsnit i 2007.

Udlederkrav

Ribe Amt har i miljøgodkendelsen forlangt, at der skal udføres en tilstandskontrol på alle parametre efter DS2399 og hvor udlederkravene angives at skulle betragtes som "...en forøgelse af koncentrationen i forhold til det indvundne grund- og drænvand". Kontrol efter DS2399 er imidlertid en kontrol alene på udledninger ikke på koncentrationsforskelle og indebærer derfor statistiske problemer her (se kapitel 7). Kontrol efter DS2399 er alene lavet på koncentrationen i udledningerne men gør at den bliver lidt for skrap. Der er i rapporten derfor desuden lavet en sædvanlig udlederkontrol, som angivet i Bekendtgørelse om modeldambrug, men med tilstandskontrol for alle parametre og det er denne, udledningerne bør vurderes efter.

Miljøgodkendelsens udlederkrav har i begge måleår været overholdt for suspenderet stof, total fosfor og BI₅, men ikke for ammonium og total kvælstof år 1 og år 2, uanset om der anvendes udledninger beregnet efter DS2399 eller efter Bekendtgørelse om modeldambrug. Udtrykkes de beregnede udlederværdier beregnet efter Bekendtgørelsen for modeldam-

brug som procent af udlederkravværdierne, er de henholdsvis 182 % år 1 og 459 % år 2 for ammonium kvælstof, for total kvælstof 132 % år 1 og 163 % år 2, for total fosfor 28 % år 1 og 33 % år 2 samt for BI_5 36 % år 1 og 51 % år 2. Der er i Miljøgodkendelsen kun givet fuld kompensation for det reducerede vandforbrug på modeldambruget ift. til det gamle anlæg (svarende til en faktor 8,1 da medianminimum opstrøms dambruget er 500 l/s og det tilladte vandforbrug efter ombygning til modeldambrug er 61,5 l/s) på nær for ammonium kvælstof, hvor kravet er skærpet med en faktor 2,5. Selv med fuld kompensation kunne udlederkravet dog ikke overholdes år 2 for ammonium kvælstof, hvor overskridelsen ville have været på 84 %.

Udledningen af total- og ikke mindst ammonium kvælstof fra Nørå Dambrug er således klart den kritiske parameter for overholdelse af udlederkravene. Det er især tydeligt andet måleår hvor foderforbruget øges til lidt over den årlige foderkvote, at overskridelsen bliver stor for især ammonium men også for total kvælstof. Ved fodertildeling til modeldambrug under forsøgsordningen er der initialt set bort fra kvælstof som begrænsende parameter for fodertildelingen under forsøgsordningen (*Bekendtgørelse om modeldambrug (2002) og Pedersen et al. (2003)*), hvilket betyder, at det er vigtigt at sikre en tilstrækkelig fjernelse af kvælstof for at kunne bevare/øge den under forsøgsordningen tildelte foderkvote.

Stoffjernelse, rensegrader, vandtab og potentielt foderforbrug

Stoftab til Grindsted Å

Nettovandtabet over plantelagunen er ret stort især år 1 ved Nørå Dambrug, så det får en vis betydning for vurderingen af, hvor meget af det tilførte stof til Nørå Dambrug med indtagsvand og produktionsbidrag som fjernes over plantelagunen eller tabes til Grindsted Å. De forskellige renseforanstaltninger har forskellig effektivitet ift. til de forskellige stoffer, der tilføres, hvorfor den andel af stoftilførslen til dambruget, som via afløbet fra dambruget tabes til Grindsted Å er ret forskellig. Af det samlede tilførte ammonium-kvælstof (produktionsbidrag plus indtagsvand) i første måleår udledes 10 % år 1 og 26 % år 2 til Grindsted Å. De tilsvarende værdier for total kvælstof er 38 % (år 1) og 49 % (år 2), for total fosfor 5,0 % (år 1) og 8,4 % (år 2), for BI_5 6,4 % (år 1) og 7,7 % (år 2) samt 16 % (år 1) og 18 % (år 2) for COD. 36 % år 1 og 15 % år 2 af den fosfor, som udledes til Grindsted Å er på opløst og dermed biotilgængelig form. 94 % (år 2) af udledt total kvælstof udledes som enten ammonium eller nitrit-nitrat kvælstof og er dermed også umiddelbart biotilgængeligt.

Det er kun en beskeden del af tilførslen af ammonium kvælstof til Grindsted Å fra Nørå Dambrug som stammer fra det indtagne vand og som ellers ville være nået frem til vandløbet længere nedstrøms. Til gengæld indtages der med indtagsvandet hvad der svarer til 79 % af det nitrit-nitrat kvælstof, der udledes fra dambruget ligesom indtaget af suspenderet stof er mere end dobbelt så stor som udledningen. De tilsvarende værdier for de øvrige kemiske stoffer er: total kvælstof (48 %), opløst fosfor (54 %), total fosfor (48 %), BI_5 (42 %) og COD (53 %). Nettonedsivningen over plantelagunen er årsagen til, at den andel af udledningen til Grindsted Å som kan forklares med indtagsvandet, er større end den procentdel koncentrationen i indtagsvandet udgør af den tilsvarende koncentration i afløbet fra Nørå Dambrug.

Således reduceres Nørå Dambrugs målte udledninger af opløste stoffer som ammonium og nitrat kvælstof samt af opløst fosfor i et eller andet omfang af, at der i gennemsnit tabes 33 % af vandtilførslen år 1 og 23 % år 2 over plantelagunen. Det betyder, at de faktiske tab til vandmiljøet kan være lidt større, især hvis en (mindre) del af vandtabet kan relateres til utæt bygværk eller udsivning gennem brink mellem plantelagune og Grindsted Å. Langt hovedparten af vandtabet sker dog givet ved nedsivning som det opløste stof i et eller andet omfang følger med, hvor langt hovedparten må antages at blive omsat eller bundet i den umættede zone eller i grundvandet og genindvandet som indtagsvand. Det er dermed kun en mindre del, der når via grundvand og udsivning til vandløb eller fjernrecipient. Da det worst-case scenarium, som er opstillet, er fagligt set ganske urealistisk vurderes de målte resultater derfor at ligge tættest på de faktiske forhold, ikke mindst år 2.

Nettorensegrader

De opnåede målte nettorensegrader (dvs. stoffjernelsen relateret til produktionsbidraget) over hele Nørå Dambrug er i år 1/år 2 for total kvælstof 80 %/66 %, for total fosfor 97 %/95 % samt for BI₅ 98 %/95 %, dvs. de er generelt lavere år 2, men ikke relativt set i lyset af øgningen i foderforbruget på 27 % og af det reducerede vandtab. Nettoensegraden er for begge måleår væsentligt over forudsætningerne for modeldambrug (*Bekendtgørelse for modeldambrug, 2002*) på henholdsvis 15, 65 % og 80 % for et modeldambrug type III med mikrosigter. Rensegraden skal være 15 % for total kvælstof + tillæg for en plantelagunestørrelse som ved Nørå Dambrug er på 15 %, dvs. i alt 30 % (år 2). Dette overholdes altså til fulde. Nettoensegraden for ammonium kvælstof er 91 % år 1 men kun 75 % år 2.

Anvendes det fagligt urealistiske worst case scenarie er netto rensegraden år 1/år 2 for total kvælstof 47 %/44 %, for total fosfor 95 %/94 % samt for BI₅ 97 %/95 %, hvor forskellen mellem worst case scenariet år 1 og år 2 er mindre end for rensegrader baseret på målinger, fordi vandtabet år 2 er mindre. Selv ved worst case scenariet er nettorensegraderne år 2 betydeligt over forudsætningerne. For fosfor og organisk stof er forskellen mellem målte og worst case scenarie netto rensegrader små, da kun en mindre del af disse stoffer er på opløst form og derfor kan følge med nedsivningsvandet.

Selvom rensegraderne til fulde opfyldes har udlederkravene være så skrappe for ammonium- og total kvælstof at disse ikke har kunnet opfyldes.

Stoffjernelse i renseforanstaltninger i produktionsanlægget

Renseforanstaltningerne på Nørå Dambrug opfylder således forudsætningerne på trods af driftsproblemer år 1 bl.a. underdimensionerede slambassiner, et uhensigtsmæssigt vandflow i produktionsanlægget fra starten, tilfælde af massedødsfald år 2 og perioder med lav appetit hos fiskene, og også selv om der måles lavere renseeffektivitet år 2 i produktionsanlægget, hvor foderforbruget er 27 % højere end år 1.

De beregnede rensegrader over selve produktionsanlægget er helt uafhængige af, om der er vandtab over plantelagunerne eller ej. Til gengæld har dambrugets mangelfulde oplysninger ift. start og slut tidspunkter på returskyllning og tømning af slamkegler medført, at der især år 2 er sket

en underestimering af formodentligt især tilførslen af stof med returskyllevandet til slambassinerne. Betydningen af de enkelte renseforanstaltninger i produktionsanlægget er derfor forbundet med en vis usikkerhed og tilsvarende nettotilbageholdelsen over slambassinerne. Omvendt kan der gives et sikkert estimat på den samlede stoffjernelse over hele produktionsanlægget, da stofinputtet og afløb fra produktionsenhederne, sættefiskeanlæg + leveredamme samt stoftab med klaringsvandet er målt/beregnet med meget beskeden usikkerhed.

Driftsuheld, større dødelighed, manglende appetit m.v. medfører år 2 højere foderkvotienter end år 1. Rensegraderne falder, men nitrifikationsraten stiger i produktionsanlægget fra $0,13 \text{ g m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ år 1 til $0,16 \text{ g m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$ år 2 idet der omsættes mere ammonium kvælstof år 2 (10.400 kg) end år 1 (8.600 kg). Dette kan dog ikke fuldt ud opveje at tilførslen til produktionsanlægget stiger fra ca. 9.700 kg til ca. 13.350 kg. Derfor ses på samme tid øget nitrifikationsrate og lavere rensegrad. Biofiltrene har været beluftet begge år og der er ikke oplysninger om hvordan beluftningen er justeret undervejs, men lidt lavere iltkoncentrationer år 2 nedstrøms biofiltret kunne indikere øget iltforbrug i biofiltrene svarende til øget belastning. Samtidigt ses også lavere pH over biofiltre år 2, som kan forklares ved øget CO_2 -produktion grundet øget nitrifikation samt et relativt mindre vandskifte.

Trods øget foderforbrug år 2 er inputtet af fosfor til produktionsanlægget ens de to år, da der er et lavere fosforindhold i det anvendte foder. Netto rensegraden af fosfor over dambruget er 2 procentpoint lavere end år 1. Der er en væsentlig stigning i input af BI_5 til produktionsanlægget år 2 som er 30 % (ca. 8.950 kg) højere end år 1, mens netto rensegraden kun falder med 3 procentpoint.

Selv om der år 2 for alle stoffer på nær total fosfor er et betydeligt større produktionsbidrag og dermed samlet et større input til produktionsanlægget end år 1, så beregnes at renseforanstaltningerne via tømning af slamkegler, returskyllevand fra biofiltre og spulevand fra mikrosigter brutto tilsyneladende fjerner mindre total fosfor (år 1: 1.950, år 2: 1.113) og BI_5 (år 1: 24.050, år 2: 15.550) og COD (år 1: 91.050, år 2: 42.550). Hermed bliver tilførslen af disse stoffer til slambassinerne væsentligt lavere år 2, mens der tilføres mere ammonium og nitrat-nitrit kvælstof og samme mængde total kvælstof. Som nævnt kan det formentlig tilskrives en underestimering af tilførslen af stof især med klaringsvandet til slambassinerne år 2 grundet mangelfulde registreringer fra dambruget. Det medfører, at baseret på massebalancer over produktionsanlægget (som regnes for sikre med kun lille usikkerhed) så beregnes en væsentligt større akkumulation/omsætning af total fosfor og organisk stof i selve produktionsanlægget udenfor renseforanstaltningerne år 2. Dambruget har ikke oplyst om større slamansamlinger, som dette ville medføre, og slammet skulle så være suget op i slambassinerne uden om målprogrammet. Er der tale om en underestimering af tilført slamperkulat fra renseforanstaltningerne er den målte netto stoftilbageholdelse af total fosfor og organisk stof over slambassinerne år 2 reelt større end den angivne, og den er allerede i forvejen beregnet som noget større end i år 1.

En årsag til at der evt. er lavere rensning år 2 ved tømning af slamkegler kan være at de kun tømmes en gang om ugen og med større daglig ud-

fodring fyldes så meget, at deres effektivitet evt. falder i de sidste dage før tømning.

Samlet måles, at den største del af stoffjernelsen af ammonium kvælstof, total fosfor, BI_5 og COD sker over produktionsanlægget inklusiv slambassinerne, for ammonium kvælstof 77 % år 1 mod 68 % år 2, for total fosfor 51 % år 1 mod 74 % år 2, for BI_5 29 % år 1 mod 75 % år 2 og for COD tilsvarende 26 % år 1 mod 65 % år 1. For alle disse stoffer er en større andel af stoffjernelsen år 2 sket over produktionsanlægget samtidig med at det relative og absolutte stoftab år til Grindsted Å er blevet større. Det betyder, at plantelagunernes procentuelle andel år 2 er faldet mere end de tilsvarende er steget i produktionsanlægget. Kun for total kvælstof fjernes der en større andel i plantelagunen (år 1: 46 %; år 2: 36 %) end i produktionsanlægget (år 1: 17 %; år 2: 36 %), mens en stor del af det tilførte total kvælstof udledes til Grindsted Å (år 1: 38 %; 49 %).

Øget nitrifikation år 2 medfører dannelse af mere nitrat, der kun i mindre omfang kan omsættes i produktionsanlægget men tilføres plantelagunerne sammen med mere organisk kvælstof (partikulært bundet). Plantelagunerne tilføres 19 % (ca. 1.850 kg) mere nitrit-nitrat kvælstof år 2. Omsætningsraten i plantelagunen stiger år 2, men der er et reduceret vandtab. Ialt tabes 19 % (ca. 1.000 kg) mere nitrat år 2 til Grindsted Å, men det ekstra tab er mindre end den øgede tilførsel til plantelagunen.

Nettorensesgrad over slambassinerne

Den omtalte sandsynlige underestimering af stoftilførslen år 2 til slambassinerne betyder, at en umiddelbar sammenligning af renseforanstaltningernes indbyrdes betydning skal tages med et vist forbehold. Det gælder specifikt, hvis det er bidragene fra kun en eller to af renseforanstaltningerne, som er underestimeret. Det anses for sandsynligt, at det primært er stof med returskyllevandet fra biofiltre, der er underestimeret og som derfor reelt har en større betydning end det fremgår nedenfor.

Tømning af slamkegler er for alle kemiske komponenter, på nær ammonium og total kvælstof, den vigtigste kilde for stoftilførsel til slambassinerne med 38-63 % af stoftilførslen. Tilsvarende er returskyllevand for disse stoffer næstvigtigste kilde med mellem 24-41 %, spulevand fra mikrosigterne står kun for tilførsel af 10-13 % af disse stoffer. For total kvælstof har skylning af slamkegler og skyllevand fra biofiltre samme betydning 38-39 % og tilsvarende for ammonium kvælstof med hhv. 30 og 34 %. År 1 udgør tømning af slamkegler for alle stoffer en større andel end år 2, da det udgør 54-81 % og skyllevand fra mikrosigter betød med 1 % væsentligt mindre; for ammonium og total kvælstof dog henholdsvis 16 og 11 %. Sammenlignet med andre modeldambrug under måle- og dokumentationsprojektet fjerner mikrosigten meget lidt stof både absolut og procentuelt. Hvorvidt det skyldes mikrosigtens udformning, den anvendte maskevidde, en uhensigtsmæssigt placering af mikrosigten, fækaliernes struktur eller andet kan ikke vurderes. Det er dog umiddelbart ret overraskende, at der fjernes så lille en andel af de partikelbundne fraktioner uagtet renseforanstaltningernes rækkefølge.

Trods større stofinput til produktionsanlægget grundet øget foder forbrug, større vandindtag og højere foderkvotient i år 2 tilføres der væsentlig mindre partikelbundet stof til slambassinerne, nemlig for organisk kvælstof 26 %, opløst fosfor 56 %, total fosfor 43 %, BI_5 35 %, COD

53 % og suspenderet stof 34 % mindre end år 1, mens der for stoffer på typisk opløst form sker en stigning ift. år 1 for ammonium kvælstof på 83 %, nitrat-nitrit kvælstof 102 % og total kvælstof 3 %.

Der er naturligvis nogle usikkerheder ved opgørelsen af stoftilførslen til slambassinerne. I en længere periode år 1 er vanduret, som måler mængden af klaringsvand fra slambassin både tilstoppet og underdimensioneret, hvorfor mængden af klaringsvand er beregnet ud fra den målte tilførsel til slambassinerne og vandstanden i denne, hvilket kan give en mindre usikkerhed. Vandbalancen er afstemt både for hele dambruget og for produktionsanlægget og de målte kemiske koncentrationer er målt med høj præcision ligesom stofinput via produktionsbidraget til dambruget kendes rimeligt præcist. Den største usikkerhed ligger på dambrugets tidsmæssige registrering af præcis hvornår slamkegletømning starter og stopper og tilsvarende for returskylning af biofiltrene, således at tilførslen fra disse renseforanstaltninger til slambassiner kan over- eller formentlig underestimeres. Vi har valgt at afstemme for manglende skyllevand til slambassiner ved at tillægge vand med koncentrationer svarende til i afløb fra produktionsanlægget, idet vi har antaget at dambruget har registreret for kort tid på de enkelte returskylninger. Noget kunne tyde på at der i stedet skulle have været anvendt (de højere) koncentrationer i returskyllevand, da det snarere er en række returskylninger dambruget slet ikke har registreret. Underestimering betyder som nævnt, at en umiddelbar sammenligning af renseforanstaltningernes indbyrdes betydning skal tages med et vist forbehold; men det ændrer ikke ved rensegraderne for hele produktionsanlægget.

Der måles generelt større nettotilbageholdelse over slambassinerne år 2 selv om der er tilført mere vand men mindre partikulært stof: total fosfor (år 1: 65 %; år 2: 75 %), BI_5 (år 1: 29 %, år 2: 75 %), COD (år 1: 49 %; 67 %), suspenderet stof (år 1: 21 %; år 2: 66 %). Dette betyder, at det ekstra slambassin, der er etableret godt halvvejs inde i år 1 har medført en bedre tilbageholdelseskapacitet efterfølgende og den øgede tilbageholdelse over slambassinerne år 2 for de partikulært bunde fraktioner har sikret en højere netto rensegrad over produktionsanlægget, også når det er justeret for stoftabet med klaringsvandet.

Der er begge måleår netto udledning af ammonium kvælstof og ingen nettotilbageholdelse over slambassinerne af total kvælstof, men det kan være grundet nævnte underestimering af inputtet til slambassinerne. Næsten al nitrat i slambassinerne omdannes til ammoniumkvælstof ved dissimilatorisk nitrat reduktion og i mindre omfang kan der også dannes ammonium ved ammonificering af organisk (partikulært) kvælstof.

For alle stoffer på nær kvælstof betyder den højere netto stoftilbageholdelse over slambassinerne at tilførslen til plantelagunerne med klaringsvandet er væsentligt mindre år 2 (en faktor 2,5-5), dog der tilføres der mere ammonium (36 %) og nitrit-nitrat kvælstof (69 %) men samme mængde total kvælstof som år 1.

Stoffjernelse i plantelagunerne

I år 2 kommer 39 % af ammonium kvælstof, 6 % af nitrit-nitrat kvælstof, 17 % af total kvælstof, 11 % af opløst fosfor, 59 % af total fosfor, 36 % af BI_5 og 34 % af COD af den samlede tilførsel til plantelagunerne med kla-

ringsvandet. Dermed er tilførslen med klaringsvandet også år 2 en betydende stofkilde for plantelagunen, hvori især ammonium kvælstof og en del af det tilførte fosfor (det opløste og det fin-partikulære) kun i begrænset omfang kan omsættes/tilbageholdes. Det vil være hensigtsmæssigt at begrænse tabet af stof, der reelt er fjernet og opsamlet i slambassinerne. Det er dog nødvendigt med en vis tilførsel af organisk stof til plantelagunen for at drive denitrifikationen deri.

Set i forhold til tilførslen tilbageholder plantelagunen en ganske stor andel af alle tilførte stoffer år 2 (42-71 %, de højeste værdier for opløst og total fosfor samt BI₅), men dog kun 19 % af tilført ammonium kvælstof. Kun 17 % af tilført fosfor er på opløst form, mens det i afløbet fra plantelagunen er 15 %. Det antages, at primært en andel af partikulært bundet fosfor tilbageholdes i plantelagunen, mens noget opløst fosfor kan optages i biomassen i planterne samt i et eller andet omfang følge med det vand, der siver ud af plantelagunen.

Stoftilførslen til plantelagunen år 2 påvirkes dels af, at der tilføres ca. 15 % mere vand og af øget stofinput i produktionsanlægget og rensegraderne heri. Det medfører, at tilførslen af ammonium kvælstof er 91 %, nitrit-nitrat kvælstof 19 % og total kvælstof 18 % større end år 1. Til gengæld er stoftilførslen lavere for opløst fosfor (-32 %), total fosfor (-47 %), BI₅ (-55 %) samt COD (-68 %).

Plantelagunen opfylder fuldt ud forventninger og forudsætningerne til stoffjernelse, selv om der, sammenlignet med Døstrup Dambrug, er opstrøms renseforanstaltninger som biofiltre, mikrosigter m.v. F.eks. er total kvælstoffjernelsen med 3,4 (år 1) henholdsvis 3,1 (år 2) g N pr m² pr. dag mere end 2-3 gange over forudsætningerne. For total fosfor er raten med 0,32 (år 1) – 0,13 (år 2) g P pr m² pr. dag i år 2 3-5 gange højere end målt på Døstrup Dambrug. For BI₅ er den med 7,7 (år 1) henholdsvis 2,7 (år 2) g BI₅ pr m² pr. dag i år 2 ca. 1,5-3 gange højere end målt på Døstrup Dambrug.

Selv med det urealistiske worst case scenarie har stoffjernelsen været lidt eller noget højere end forudsætningerne på nær for ammonium kvælstof, hvor det kan være et større tab med nedsivningsvandet. Reelt vil dette ammonium kvælstof kun i beskedent omfang nå vandløb og fjernrecipient, da en større del må forventes enten omsat eller genindvundet som indtagsvand.

En mulig årsag til lavere tilbageholdelse/omsætning af total fosfor og til dels BI₅ år 2 kan være reduceret opholdstid og reduceret vandtab samt især at der tilføres mindre stof at "arbejde med" for plantelagunen. Ved andre modeldambrug er det set, at en øget stofbelastning øger omsætningen pr. m² plantelagune (*Svendsen et al., 2008*), men dette kan ikke fuldt ud forklare det. Der er allerede etableret plantevækst fra starten af år 1 hvor dækningsgrad og biomasse dog øges gennem måleperioden. Der kan år 2 måske også i højere grad være udviklet nogle præferentielle strømninger i plantelagunen, hvor Sødgræs bliver dominerende plante og hvor dækningsgraden af de andre planter falder markant trods en samlet stigning i dækningsgrad og biomasse. Sødgræs har en stor del af planten over vandoverfladen som giver meget biomasse, og den har oprette, stive stængler som ift. dækningsgrad og biomasse ikke nødvendigvis yder samme modstand mod vandstrømmen som nogle af de andre

plantearter, der har større dele af deres biomasse og bladoverflade i og under vandoverfladen. Endelig kan det ikke udelukkes at der er sket mindre justeringer i vandflowet i plantelagunen år 2.

Potentialet for yderligere stoffjernelse i plantelagunerne er vanskelig at vurdere, da renseforanstaltningerne i produktionsanlægget fjerner en del af det stof, som plantelagunerne potentielt kunne fjerne. Men med større udledning af kvælstof år 2 til plantelagunerne, er omsætningen pr. m² steget for nitrit-nitrat kvælstof, men faldet for ammonium kvælstof. Sidstnævnte måske fordi vandtabet er reduceret år 2, og der kan generelt ikke forventes nogen større ammonium omsætning/-tab over plantelagunen ud over et muligt tab ved nedsivning. Hvis man samtidigt sørger for at bibeholde stofferne mest muligt på partikulær henholdsvis nitrat-form samt øger opholdstiden (plantelagunernes areal) og undgår præferentielle strømninger vil der være basis for en øget tilbageholdelse/omsætning af nitrat, organisk kvælstof, fosfor og BI₅.

Kampagnemålinger af iltkoncentrationen i plantelagunen viser, at iltniveauet 40 meter nedstrøms indløbet fra produktionsanlægget er halveret og i hovedparten af tiden er under 2 mg/l. Målinger viser også at iltindholdet få cm over bunden af plantelagunen er nær 0 mg/l. Der er således ved bunden af plantelagunerne gode muligheder for denitrifikation grundet de iltfrie forhold og tilstedeværelse af nitrat og let omsætteligt organisk stof, mens der i den øvre del af vandmassen og i biofilmen på planterne også foregår en vis aerob omsætning af organisk stof og ammonium-kvælstof. Herudover optager planterne nitrat og opløst fosfor, dette er dog massebalancemæssigt af lille betydning for dambruget.

Ved maksimal biomasse er det beregnet, at der år 2 er indbygget ca. 175 kg kvælstof svarende til 2,3 % af det total kvælstof (3,3 % af nitrit-nitrat kvælstof), der fjernes/tilbageholdes i plantelagunen i andet måleår. Tilsvarende er der indbygget knap 26 kg fosfor svarende til 8,2 % af tilbageholdt total fosfor (46 % af tilbageholdt opløst fosfor). Betydningen for den samlede stoftilbageholdelse i plantelagunerne er således lille især for kvælstof. Der sker både tab og opbygning af biomasse gennem vækstsæsonen så dette er et minimumsmål for kvælstof- og fosforoptag i planterne over sæsonen, men det bliver kun en reel tilbageholdelse, hvis plantematerialet høstes og biomassen fjernes fra plantelagunen. Betydningen af næringsstofoptaget i planter er for kvælstof lidt lavere end målt på Døstrup Dambrug (*Fjorback et al., 2003*).

Potentielt foderforbrug med fundne rensegrader

Med de fundne rensegrader kan det beregnes, hvad der ud fra reglerne i modeldambrugsbekendtgørelsen kunne gives af foder hvis henholdsvis rensegraderne for total kvælstof, total fosfor eller organisk stof var begrænsende. I *Bekendtgørelsen for modeldambrug (2002)* angives hvordan det højest tilladelige foderforbrug F fastlægges for modeldambrug:

$$F = ((1 - R_n) / (1 - R_N)) * F_{\text{till}}$$

Hvor R_n er netto rensegraden for et standarddambrug:

- Total kvælstof = 0,07 (7 %)
- Total fosfor = 0,20
- Organisk stof, BI₅ = 0,20

og R_N er netto rensegraden for et modeldambrug, som for type III og IIIa indledningsvist er sat til:

- Total kvælstof = 0,11 og med mikrosigte 0,15
- Total fosfor = 0,60 og med mikrosigte 0,65
- Organisk stof, BI_5 = 0,75 og med mikrosigte 0,80.

Der gives tillæg på 10 tons foder pr. 1.000 m² plantelagune under forudsætning af, at plantelagunen fjerner 1 g N m² plantelagune pr. dag (0,365 kg N pr. m² pr. år). Med netto rensegrader for andet måleår på 66 % for total kvælstof (og ca. 7.000 m² plantelagune), 95 % for total fosfor og 95 % for BI_5 ville det give følgende fodermængde ift. til et standarddambrug med 100 tons foder:

- 274 tons hvis total kvælstof var begrænsende
- 1.600 tons hvis total fosfor var begrænsende
- 1.600 tons hvis BI_5 var begrænsende.

Samtidig skal man være opmærksom på at udlederkravene skal overholdes, hvilket år 2 meget langt fra er tilfældet for ammonium og total kvælstof.

Optimeringer

Der er behov for yderligere kvælstoffjernelse, hvis der skal sikres en udvidelse af produktionen uden at øge udledningerne af kvælstof, men det vil også være hensigtsmæssig med en større fosforfjernelse. Nitrifikationen bør kunne øges primært via stabil drift men også ved f.eks. at vurdere om beluftningen af biofiltret er optimeret og sikre tilstrækkelig alkalinitet. Der kan endvidere overvejes et separat biofilter eller mere filtermedie. På afløbsvandet fra produktionsenhederne eller fra plantelagunen kunne et specifikt denitrifikationsfilter eventuelt være relevant.

Sammenlignet med de andre modeldambrug under måle- og dokumentationsprojektet som har mikrosigter, fjerner disse overraskende lidt af alle stoffer på Nørå Dambrug (*Svendsen et al., 2008*). Ved disse dambrug lader man skyllevandet løbe igennem en beholder og leder det klarede skyllevand tilbage i produktionsanlægget. På Nørå Dambrug ledes spulevandet direkte til slambassinerne. Dette burde faktisk isoleret set forøge den mængde stof der fjernes, så forskellen kan skyldes placeringen, maskevidden, filtertypen, spuleeffektiviteten, driftssikkerheden eller andre variable, herunder fodertype og fækaliestruktur.

Sammenlignet med de andre modeldambrug har slambassinerne især år 1 haft en usædvanlig lav tilbageholdelse af de tilførte stoffer, da der ikke var kapacitet til at lade vandet klare før afledning til plantelagunerne. Det betyder i år 1 indtil et ekstra slambassin etableredes, at slambassinerne fyldes op med partikler som umiddelbart ledes videre ud i plantelagunen med ekstremt høje koncentrationer i klaringsvandet til følge og dermed store stoftab. Men selv i år 2 er tilbageholdelsen relativ beskeden sammenlignet med andre modeldambrug (*Svendsen et al., 2008*) og der bør overvejes øget kapacitet i slambassiner, helst med mulighed for at lukke for klaringsvandet i nogle timer efter tilførsel af slamperkulat, så vandet klares før afledning til plantelagunen. Der tabes kun lidt opløst fosfor med klaringsvandet grundet tilsætning af fædningsmiddel, men en forbedret indretning med dybere slambassiner, barrierer og hyppige-

re fjernelse af akkumuleret slam i slambassinerne vil sikre, at der tabes færre små partikler som typisk indeholder fosfor.

Faldet i stofomsætningen/-tilbageholdelsen i plantelagunen af total fosfor og organisk stof år 2 kan skyldes, at ved en lavere belastning falder omsætningen pr. m² plantelagune, hvilket også er set på andre modeldambrug (*Svendsen et al., 2008*). Endvidere er opholdstiden reduceret 6 timer ift. år 1. Den nuværende plantelagune virker overordnet hensigtsmæssig indrettet. Men der er behov for at øge omsætningen af især nitrat, ikke mindst hvis nitrifikationen i produktionsanlægget øges yderligere, og gerne også øge tilbageholdelsen af fosfor. Det skal sikres, at vand fra produktionsenhederne og slamtank tilledes opstrøms, som det allerede er tilfældet, og sikres at vandet tvinges til aktivt at gennemstrømme hele plantelagunens volumen, samt sikres at der er zoner både med iltrige og iltfrie forhold. Det skal undgås præferentielt flow i plantelagunen for at forhindre at en større del af vandet hurtigt løber igennem plantelagunen. Såfremt planterne typisk vokser langs dammenes sider bør faskiner bygges ud i vandhovedstrømmen, så denne tvinges fra side til side i de enkelte damme. Disse tiltag vil, sammen med en stabil drift, kunne øge tilbageholdelsen/omsætningen af både nitrat, fosfor og organisk stof.

Vandløbsfauna

Målsætningen i Grindsted Å op- og nedstrøms Nørå Dambrug er DVFI 5 med en optimal faunaklasse på 7.

Der er registreret 70 taxa på stationen op- og nedstrøms dambruget i Grindsted Å og i Grene Å, som løber til Grindsted Å lige nedstrøms dambruget og opstrøms den nedstrøms station i Grindsted Å. De artsrigeste grupper er vårfluer (12 arter), slørvinger (8) og døgnfluer (7). Smådyrsfaunaen er domineret af tolerante former som alle er vidt udbredte i jyske vandløb. 6 taxa: børsteorm, ferskvandstangloppen, dansemyg, kvægmyg, døgnfluer og vandbænkebidere udgør 76-96 %, 64-97 % og 84-95 % af alle individer på henholdsvis stationen opstrøms- og nedstrøms dambruget i Grindsted Å og stationen i Grene Å.

DVFI tilstanden er i 9 ud af 10 tilfælde enten faunaklasse 5 eller 7 opstrøms dambruget. I ét tilfælde er faunaklassen DVFI 4. På nedstrøms lokaliteten i Grindsted Å er faunaklassen i 7 tilfælde DVFI 4, og tre gange er den DVFI 5. I Grene Å er DVFI henholdsvis 3 og 4 ved tre af de fem undersøgelser de to måleår.

Smådyrsfaunaen på opstrøms lokaliteten i Grindsted Å er moderat artsfattig. Der forekommer dog flere rentvandskrævende former bl.a. indenfor slørvingerne. Som helhed er smådyrsfaunaen domineret af temmelig almindeligt forekommende arter med brede tolerance forhold.

Smådyrsfaunaen i Grindsted Å nedstrøms for Nørå Dambrug er også domineret af tolerante og almindelige arter og mangler i modsætning til opstrøms lokaliteten overordnet de egentlige rentvandsformer. Der er i flere tilfælde forureningsdominanter som børsteorm og vandbænkebidere i stort antal.

Tilløbet Grene Å har en fauna med mange forureningstålende arter og individer. I flere tilfælde er der masseforekomst af børsteorme og vand-

bænkebider, og i et enkelt tilfælde betydelig forekomst af dansemyggen *Chironomus*. Det sidste er efterhånden ved at være et særsyn, især i større jyske vandløb. Alt i alt må tilstanden i Grene Å ud fra smådyrsfaunaen betegnes som værende væsentligt påvirket af udledning af forurenende stoffer.

Den massive påvirkning af og fra Grene Å giver tolkningsmæssige problemer i forhold til nedstrøms lokaliteten i Grindsted Å, da det ud fra smådyrsfaunaen alene kan være svært at afgøre, i hvilket omfang den generelt ikke-tilfredsstillende tilstand i Grindsted Å nedstrøms Nørå Dambrug skyldes udledninger fra Nørå Dambrug eller udledninger og påvirkninger fra andre kilder beliggende opstrøms i Grene Å.

13 Litteraturliste

Bekendtgørelse om modeldambrug (2002). Bekendtgørelse om modeldambrug. 10 s. - BEK nr. 923 af 08/11/2002

Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug (2004). Bekendt om ændring af bekendtgørelse om modeldambrug. 2 s. - BEK nr. 328 af 15/03/2004

By- og Landskabsstyrelsen (2009): Punktkilderapport 2007. By- og Landskabsstyrelsen, Miljøministeriet, 115 pp.

Dambrugsudvalget (2002). Dambrugsudvalget. Udvalget vedr. dambrugs-erhvervets udviklingsmuligheder. 78 s. Rapport. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri

Dansk Akvakultur (2008). Drift- og fiske sygdomme i modeldambrug. Master Management System. 44 pp.

Dansk Standard (1999). DS 2399 Afløbskontrol. Statistisk kontrolberegning af afløbsdata

Fjorback, C., Larsen, S.E., Skriver, J., Svendsen, L.M., Nielsen, P. & Riis-Vestergaard, J. (2003) Forsøgsprojekt Døstrup Dambrug. Resultater og konklusioner. Danmarks Miljøundersøgelser. 272 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 434

Larsen, S.E. & Svendsen, L.M. (1998). Afløbskontrol af dambrug. Statistiske aspekter og opstilling af kontrolprogrammer. Danmarks Miljøundersøgelser. 86 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 260

Miljøstyrelsen (1998). Biologisk vandløbsbedømmelse af vandløbskvalitet. Miljø- og Energiministeriet. 39 s. - Vejledning nr. 5/1998

Pedersen, M. L., Baattrup-Pedersen, A & Wiberg-Larsen, P. (red) (2007). Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-09. 3. udgave. Danmarks Miljøundersøgelser. 150 s. - Teknisk anvisning fra DMU nr. 21

Pedersen, P.B. Grønberg, O., & Svendsen, L.M. (red.) (2003). Modeldambrug. Specifikationer og godkendelseskrav. Rapport fra faglig arbejdsgruppe. 82 s. - Arbejdsrapport fra DMU, nr. 183

Ribe Amt (2004 a). Miljøgodkendelse af Nørå Dambrug. 20 s.

Ribe Amt (2004 b). Tillæg til/ændring af miljøgodkendelse af Nørå Dambrug dateret 6. juli 2004. 8 s.

Skriver, J., Riis, T., Carl, J., Friberg, N., Ernst, M.E., Frandsen, S.B., Sode, A. & Wiberg-Larsen, P. (1999). Biologisk overvågning i vandløb 1998-2003. Biologisk vandløbskvalitet (DVFI). Udvidet biologisk program. NO-VA2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 41 s. – Teknisk anvisning fra DMU nr. 16

Sortkjær, O., Pedersen, L-F. & Ovesen, N.B. (2008): Omsætning af formalin i danske dambrug. Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet. 122 s. Faglig rapport DMU nr. 699

Svendsen, L.M. & Pedersen, P.B. (reds.) (2004). En undersøgelse af muligheder for etablering af måleprogram på såkaldte modeldambrug. 118 s. - DFU-rapport nr. 132-04

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S. & Dalsgaard, A.J.T. (2007). Nørå Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoreringsprojektet. 59 s. DFU-rapport nr. 175-07

Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Boutrup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T. & Suhr, K. (2008). Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for "Måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug". 225 s. DTU Aqua-rapport nr. 193-08

Thomsen, L., Bo-Holm Andersen, L. (2006). Udvikling af metoder til opsamling af foderspild i modeldambrug. Speciale på Fiskeriteknologuddannelsen, Aalborg Universitet Esbjerg, juni 2006, 76 pp.

DTU Aqua-rapportindex

Denne liste dækker rapporter udgivet i indeværende år samt de foregående to kalenderår. Hele listen kan ses på DTU Aquas hjemmeside www.aqua.dtu.dk, hvor de fleste nyere rapporter også findes som PDF-filer.

- Nr. 169-07 Produktion af blødskallede strandkrabber i Danmark - en ny marin akvakulturproduktion. Knud Fischer, Ulrik Cold, Kevin Jørgensen, Erling P. Larsen, Ole Saugmann Rasmussen og Jens J. Sloth.
- Nr. 170-07 Den invasive stillehavsøsters, *Crassostrea gigas*, i Limfjorden - inddragelse af borgere og interessenter i forslag til en forvaltningsplan. Helle Torp Christensen og Ingrid Elmedal.
- Nr. 171-07 Kystfodring og kystøkologi - Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. Josianne Støttrup, Per Dolmer, Maria Røjbek, Else Nielsen, Signe Ingvarsen, Per Sørensen og Sune Riis Sørensen.
- Nr. 172-07 Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 173-07 Tingkær vad Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 174-07 Abildtrup Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoreringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 175-07 Nørå Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 176-07 Rens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 1. måleår af monitoringsprojektet. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 177-08 Implementering af mere selektive og skånsomme fiskerier – konklusioner, anbefalinger og perspektivering. J. Rasmus Nielsen, Svend Erik Andersen, Søren Eliassen, Hans Frost, Ole Jørgensen, Carsten Krog, Lone Grønbæk Kronbak, Christoph Mathiesen, Sten Munch-Petersen, Sten Sverdrup-Jensen og Niels Vestergaard.

- Nr. 178-08 Økosystemmodel for Ringkøbing Fjord - skarvbestandens påvirkning af fiskebestandene. Anne Johanne Dalsgaard, Villy Christensen, Hanne Nicolajsen, Anders Koed, Josianne Støttrup, Jane Grooss, Thomas Bregnballe, Henrik Løkke Sørensen, Jens Tang Christensen og Rasmus Nielsen.
- Nr. 179-08 Undersøgelse af sammenhængen mellem udviklingen af skarvkolonien ved Toftesø og forekomsten af fladfiskeyngel i Ålborg Bugt. Else Nielsen, Josianne Støttrup, Hanne Nicolajsen og Thomas Bregnballe.
- Nr. 180-08 Kunstig reproduktion af ål: ROE II og IIB. Jonna Tomkiewicz og Henrik Jarlbæk.
- Nr. 181-08 Blåmuslinge- og stillehavsøstersbestandene i det danske Vadehav 2007. Per Sand Kristensen og Niels Jørgen Pihl.
- Nr. 182-08 Kongeåens Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 183-08 Taskekrabben – Biologi, fiskeri, afsætning og forvaltningsplan. Claus Stenberg, Per Dolmer, Carsten Krog, Siz Madsen, Lars Nannerup, Maja Wall og Kerstin Geitner.
- Nr. 184-08 Tvilho Dambrug – et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra 1. måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 185-08 Erfaringsopsamling for muslingeopdræt i Danmark. Helle Torp Christensen, Per Dolmer, Hamish Stewart, Jan Bangsholt, Thomas Olesen og Sisse Redeker.
- Nr. 186-08 Smoltudvandring fra Storå 2007 samt smoltdødelighed under udvandringen gennem Felsted Kog og Nissum Fjord. Henrik Baktoft og Anders Koed.
- Nr. 187-08 Tingkærved Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 188-08 Ejstrupholm Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.

- Nr. 189-08 The production of Baltic cod larvae for restocking in the eastern Baltic. RESTOCK I. 2005-2007. Josianne G. Støttrup, Julia L. Overton, Sune R. Sørensen (eds.)
- Nr. 190-08 User's manual for the excel application "TEMAS" or "Evaluation Frame". Per J. Sparre.
- Nr. 191-08 Evaluation Frame for Comparison of Alternative Management Regimes using MPA and Closed Seasons applied to Baltic Cod. Per J. Sparre.
- Nr. 192-08 Assessment of Ecosystem Goods and Services provided by the Coastal Zone System Limfjord. Anita Wiethüchter.
- Nr. 193-08 Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for "Måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug". Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skrivers, Søren Erik Larsen, Susanne Bouttrup, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen, Anne Johanne Tang Dalsgaard og Karin Suhr.
- Nr. 194-08 Omsætning af ammonium-kvælstof i biofiltre på Modeldambrug. Karin Isabel Suhr, Per Bovbjerg Pedersen, Lars M. Svendsen, Kaare Michelsen og Lisbeth Jess Plesner.
- Nr. 195-08 Fangst, opbevaring og transport af levende danske jomfruhummere (*Nephrops norvegicus*). Preben Kristensen og Henrik S. Lund.
- Nr. 196-08 Udsætning af geddeyngel som bestandsophjælpning i danske brakvandsområder – effektivurdering og perspektivering. Lene Jacobsen, Christian Skov, Søren Berg, Anders Koed og Peter Foged Larsen.
- Nr. 197-08 Manual to determine gonadal maturity of herring (*Clupea harengus* L) Rikke Hagstrøm Bucholtz, Jonna Tomkiewicz og Jørgen Dalskov.
- Nr. 198-08 Can alerting sounds reduce bycatch of harbour porpoise? Lotte Kindt-Larsen.
- Nr. 199-08 Udvikling af produktionsmetoder til intensivt opdræt af sandart yngel. Svend Steinfeldt og Ivar Lund.
- Nr. 200-08 Opdræt af tunge (*Solea solea*) - undersøgelse af mulighederne for kommercialisering. Per Bovbjerg Pedersen, Ivar Lund, Svend Jørgen Steinfeldt, Julia Lynne Overton og Mads Nunn.
- Nr. 201-08 Produktion af vandlopper til anvendelse ved opdræt af marin fiskeyngel. Svend Steinfeldt.
- Nr. 202-09 Vurdering af markedsudsigter for akvakulturproduktion i Danmark. Erling P. Larsen, Jens Henrik Møller, Max Nielsen og Lars Ravensbeck.

- Nr. 203-09 Løjstrup Dambrug (øst) - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 204-09 Final Report of Fully Documented Fishery. Jørgen Dalskov and Lotte Kindt-Larsen.
- Nr. 205-09 Registrering af fangster i de danske kystområder med standardredskaber fra 2005-2007. Nøglefiskerrapporten 2005-2007. Claus R. Sparrevohn, Hanne Nicolajsen, Louise Kristensen og Josianne G. Støttrup.
- Nr. 206-09 Abildtrup Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.
- Nr. 207-09 Nørå Dambrug - et modeldambrug under forsøgsordningen. Statusrapport for 2. måleår af monitoringsprojektet med væsentlige resultater fra første måleår. Lars M. Svendsen, Ole Sortkjær, Niels Bering Ovesen, Jens Skriver, Søren Erik Larsen, Per Bovbjerg Pedersen, Richard Skøtt Rasmussen og Anne Johanne Tang Dalsgaard.